

# Havacılık Yönetiminde Yapay Zeka Uygulamaları



Prof. Dr. Vahap Önen

ÖZGÜR  
YAYINLARI

# Havacılık Yönetiminde Yapay Zeka Uygulamaları

**Editör:**

Vahap ÖNEN



Published by

**Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.**

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şehitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 [www.ozgur yayinlari.com](http://www.ozgur yayinlari.com)

✉ [info@ozgur yayinlari.com](mailto:info@ozgur yayinlari.com)

---

## Havacılık Yönetiminde Yapay Zeka Uygulamaları

Editor: Vahap ÖNEN

---

Language: Turkish

Publication Date: 2025

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

**ISBN (PDF):** 978-625-8554-76-2

**DOI:** <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1142>

---



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>. This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

---

Suggested citation:

Önen, V. (ed) (2025). *Havacılık Yönetiminde Yapay Zeka Uygulamaları*. Özgür Publications.

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1142>. License: CC-BY-NC 4.0

---

*The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozgur yayinlari.com/>*

---



## Ön Söz

Yapay zekâ gün geçtikçe günlük hayatımızın her alanında daha fazla yer edinmektedir. Havacılık sektörü de en son teknolojileri ve yenilikleri ilk olarak uygulayan öncül sektörlerden biridir. Özellikle son birkaç yıldır sivil havacılık endüstrisinde birçok yapay zekâ uygulamalarını görülmekte ya da sosyal medya aracılığıyla işletmeler tarafından duyurulmaktadır. Havayolu işletmeleri, bakım kuruluşları, simülatörler, yer işletme firmaları, uçuş okulları, uçuşa elverişlilik birimleri, havacılık kargo işletmeleri, hava trafik yönetimleri gibi benzer havacılık yönetiminde yer alan tüm paydaşlar ise bu gelişmeleri yakından takip etmekte ve bu uygulamaları kendi faaliyetlerine adapte etmeye çalışarak rekabet gücünü artırmaya, operasyonlarını verimli, ekonomik, etkin, daha emniyetli, güvenli ve karlı olacak şekilde kullanmaya çalışmaktadırlar. Zira, havacılık yönetiminin bir süreci olarak dijitalleşmenin bir alt bileşeni olan yapay zekâ teknolojileri ve/veya uygulamalarını hayata geçiren havacılık yönetimi kuruluşları bu bakımdan önümüzdeki dönemde diğer şirketlerden bir adım daha ileride olma fırsatına erişebilecektir. Bu nedenlerle bu eser; bir başlangıç olarak, havacılık yönetimi alanında yer alan yapay zekâ uygulamalarına yönelik çeşitli örnekler sunularak sektöre bir bakış açısı kazandırılması ve akademik olarak da derli toplu Türkçe kaynak eksikliğinin giderilmesi adına alana katkı sunmak amacıyla hazırlanmıştır. Önümüzdeki süreçte benzeri çalışmaların havacılık yönetimi alanında daha da artacağı ümit edilmektedir. Tüm okurların keyifle okuyup begeneceği bir eser olması dileğiyle.



# İçindekiler

Ön Söz

iii

## Bölüm 1

Havacılık Yönetiminde Yapay Zekâ Uygulamalarının Bibliyometrik İncelemesi

1

*Vahap Onen*

## Bölüm 2

Yapay Zekâ ile Havalimanlarının Dönüşümü: Singapur Changi Havalimanı

37

*Ayşe Küçük Yılmaz*

*Büşra Karakuş*

## Bölüm 3

Havayolu Rekabetinde Yapay Zekâ: Strateji Mi, Etkinleştirici Mi?

77

*Mustafa Altıntaş*

## Bölüm 4

Hava Trafik Yönetiminde Yapay Zekâ Uygulama Süreci

113

*Seda Çeken*

## Bölüm 5

Uçuş Operasyonlarında Yapay Zekâ: Rapor Analizi ve Güvenlik İzleme

147

*Töman Erdağ*

## Bölüm 6

---

Yapay Zekâ Destekli Kişiselleştirilmiş Kabin Deneyimi: Dijital Çağda Yolcu Deneyiminin Yeniden Tasarımı 173

*Ehvan Karaarslan Göyenç*

## Bölüm 7

---

Yapay Zekâ Tabanlı Emniyet ve Uyumluluk İzleme Yönetimi: Bir Uygulama Değerlendirmesi 199

*Tevfik Uyar*

## Bölüm 8

---

Uçuş Planlamada Yapay Zeka Uygulamaları 219

*Ali Akbaba*

## Bölüm 9

---

Hava Trafik Kontrolünde Yapay Zeka Kullanımı 245

*Nil Konyalılar*

## Bölüm 10

---

Havacılık Alanında Dijital Dönüşüm ve Yapay Zekâ: Çalışan Roller, Yetkinlikler ve Etik Sorunlar 265

*Selvi Vural*

## Bölüm 11

---

Havacılık Yönetiminde Yapay Zekâ Dijital Kimlik 285

*Zuhal Erdem*

# Havacılık Yönetiminde Yapay Zekâ Uygulamalarının Bibliyometrik İncelemesi

Vahap Onen<sup>1</sup>

## Özet

Özellikle son yıllarda teknolojinin ve bunun bir konusu olan elektronik otomasyon sistemlerinin, bağlı algoritmaların ve yazılım sistemlerinin hızla gelişmesiyle yapay zekânın gündelik hayatımıza gittikçe nüfuz etmeye başlamakta olduğu gözlemlenmektedir. Havacılık sektörü doğası gereği ise en son teknolojileri en çabuk ve en başta adapta eden sektörlerin başında yer almaktadır. Zira, bu alanda yapılacak yenilikler emniyeti, güvenliği, maliyeti, kârlılığı işletme performansı ve verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle önümüzdeki dönemde yapay zekâ yöntemine dayalı uygulamaların sahada Havacılık Yönetimi alanına yansması daha fazla beklenmektedir. Bununla birlikte literatürde, bu konuda yapılan araştırmaların geriden geldiğini görmektediriz. Bu çalışmanın amacı; havacılık yönetimi alanında çıkarılacak yapay zekâ uygulamalarına yönelik yapılmış akademik araştırmaların sosyal yapısını, kavramsal yapısını, entelektüel yapısını ortaya çıkarmak ve alandaki üretkenliği belirlemektir. Analizler bibliyometrik yöntemine dayalı olarak Web of Science’da bu konuda yayınlanmış makaleler üzerinden VoSviewer yazılımı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler Covid-19’dan bugüne kadar yapılan araştırma sayılarında gün geçtikçe daha fazla araştırma yapıldığını göstermektedir. Buna karşın havacılık yönetimi ve buna bağlı alt başlıklarında yapılan çalışmaların yeterince olmadığı değerlendirilmiştir. Bundan dolayı literatürde havacılık yönetimin alt başlıklarına yönelik araştırma boşlukları mevcut olduğu ifade edilebilir. Yapılan analizlerin ışığında, en çok atıf alan ülkelerin Çin, Amerika ve İngiltere olduğu, en çok atıf yapan üniversitelerin Çin kökenli olduğu, en çok kullanılan ortak kelimelerin “artificial intelligence”, “deep learning” ve machine learning” olarak yer aldığı, en fazla atıf alan yazarların Abdel-Aty, Mohamed, Wang, Fei-Yue ve Aggarwal, Vaneet olarak ortaya çıktığı görülmüştür. “IEE transaction on intelligent Transportation System” daha sonra “Transportation Research Part Emerging Technologies”

1 Prof. Dr., İstanbul Topkapı Üniversitesi/İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / Havacılık Yönetimi, vahaponen@topkapi.edu.tr, 0000-0001-8592-9430



ve olarak “Safety Science” dergilerinin ilk üçte yer alan en çok atıf alan dergiler olduğu belirlenmiştir. Havacılık Yönetimi konuları arasında; hava trafik yönetimi, ileri tahminsel modeller, veri modelleri, güçlendirilmiş öğrenme, risk yönetimi, blok zincir konularında çalışmaların en çok yer aldığı ortaya çıkmıştır. Havacılık sektöründe havacılık yönetimi alanında yeni ve çok çeşitli yapay zekâ uygulama örneklerinin olması nedeniyle önümüzdeki süreçte literatürde bu alanda yeni yapılacak çalışmaların sayısının artacağına işaret etmektedir.

## 1. Giriş

Son yıllarda, yapay zekâ (AI), makine öğrenimi (ML) ve derin öğrenme (DL) gibi gelişmiş teknolojilerin havacılık emniyetinde oynadığı önemli rolün bir sonucu olarak yeni analiz teknikleri ortaya çıkmıştır (Alreshidi vd.; 2024). Yapay zekânın temel özelliklerinden biri makine öğrenimi adı verilen, deneyimlerden öğrenme ve verilerden çıkarımlar yapmasını sağlayan algoritmaların geliştirilmesidir. Derin öğrenme adı verilen özellik ise makine öğreniminin bir alt dalı olup çok katmanlı yapay sinir ağları kullanarak karmaşık veri örüntülerini öğrenmeleri ve büyük veri setleri ile hesaplamalar yapıp sonuçlar elde edebilmeleridir (Garcia vd., 2021). Havacılık sektöründe yapay zekâ kullanımı halen başlangıç periyodunda olmasına karşın bu dijitalleşme sürecinin sektörü köklü bir değişikliğe uğratacağı çok açıktır (Dimitrios vd., 2025). Ülkemiz 2024 itibarıyla 12 Havayolu, 44 Hava Taksi İşletmesi, 100 Genel Havacılık İşletmesi, 135 Bakım Organizasyonu, 235 Eğitim Organizasyonu, 3 A Grubu, 12 B Grubu 29 C grubu Yer Hizmeti Kuruluşu, 16 A Grubu, 48 B Grubu Acenta, 60 Sertifikalandırılmış Havalimanı, 85 Heliport yer almaktadır SHGM (2024a). Yine aynı rapora baktığımızda; 729 Uçak, 217 Hava Taksi, 581 Genel Havacılık, 441 Balon ve 34 Çok Hafif Hava Aracı bulunmakta olup 2025 yılında bu rakamlar daha da artmıştır. Benzer şekilde Lisanslı Teknisyen Personel sayılarına baktığımızda; 13092 Uçak ve Helikopter Pilotu, 960 Diğer Hava Aracı Pilotu, 2088 Hava Trafik Kontrolörü, 489 Dispeçer, 4825 Uçak Teknisyeni, 690 ATSEP, 614 Havacılık Bilgi uzmanı personel bulunmaktadır. Son olarak yolcu sayılarına bakıldığında; İç Hat Taşınan Yolcu Sayısı 95.293.038 Dış Hat Yolcu Sayısı 134.694.726 ve Transit Yolcu Sayısının da 236.847 olduğu belirlenmiştir (2024b). Eurocontrol’ün raporuna göre Avrupa ve Türkiye’de 2050 yılına kadar havacılığın gelişeceği büyüyeceği; Türkiye’nin %2,6 trafik hacminin yıllık artacağı, olası senaryoya göre bunun günde 4660 uçuşa tekabül edeceği ve trafiğin iki katına çıkacağını öngörmektedir Eurocontrol (2022). Buradan yola çıkarak özetle, tüm Dünyada, Avrupa’da ve ülkemizde havacılık sektörü ve ulaştırması sayı ve niteliksel olarak büyümekte ve gelişmektedir. Böyle büyük sayılarda yer alan yolcuları, hava araçlarını, operasyonu verimli, ekonomik

ve karlı işletmek içinde dijital işletme yöntemlerinde ve bunun bir alt türevi olarak günümüzde karşımıza çıkan yapay zekâ uygulamalarından havacılık yöneticileri yavaş yavaş yararlanmaya başlamışlar ve gün geçtikçe havacılık yönetiminde uygulamaların artacağı ve yaygınlaşacağını söyleyebiliriz. Yapay zekânın günümüzde havacılık yönetimi alanında birçok kullanım örnekleri görülmektedir. Yapay zekâ teknolojisi, uçuş emniyetini artırmak amacıyla uçak sistemlerinin izlenmesi, hava aracı kusurularının tespiti, risklerinin azaltılması ve kazaların önlenmesinde katkı sağlamaktadır. Bu teknoloji akıllı karar alma süreçlerinde etkili bir araç olarak kullanılarak operasyonel emniyeti en yüksek seviyeye çıkarmaktadır. Hava trafik kontrolünde yapay zekâ kullanılması trafik yoğunluğu ve gecikmeleri azaltması konusunda ümit verici bir çözüm olarak öne çıkmaktadır AI (n.d). Uçuş Planlaması ve operasyonel verimlilik açısından yapay zekâ uçuş programlarını optimize ederek yakıt tüketimi ve diğer operasyonel giderlerde tasarruf sağlamada önemli bir rol üstlenmektedir Mickensey (2023a). Havayolu şirketlerinde yapay zekâ entegrasyonu uçuşlar geri ödemeler ve diğer seyahatle ilgili konularda müşteri sorunlarının etkili bir şekilde ele alınmasını sağlamıştır Mickensey (2023b). Yapay zekâ teknolojisindeki sürekli gelişmeler havacılık yönetiminde yenilikçi ve dönüştürücü uygulamaların genişlemesi açısından önem taşımaktadır Gruetzemacher ve Whitetlestone (2021). Buna benzer daha birçok uygulama örnekleri havacılık yönetiminde yer almakta olup uygulamaların hızla gelişmesi ve yayılması buna paralel olarak akademik alanda da konuyla ilgili akademik araştırmaların, bilimsel etkinliklerin ve yayınların artmasına doğal olarak artışına yol açmıştır. Yaklaşık son on yıldır bu konuda yapılan çalışmaların sayıları git gide artmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada havacılık yönetiminde yapay zekâ uygulamalarına yönelik akademik alanda yapılan çalışmalara yönelik alanın yapısını ortaya çıkarmak, alandaki çalışmaları sosyal ve kavramsal yapısının ortaya çıkarılması ve çalışmaların evrimsel gelişimlerinin belirlenmesi amacıyla bir bibliyometrik analiz yapılmıştır. Çalışmada aşağıda yer alan soruların cevaplarına ulaşılmaya çalışılmıştır:

#### a) Performans Analizi Kapsamında

- a. Havacılık yönetimi alanında yapay zekâ uygulamalarına yönelik en çok araştırma yapan yazarlar, üniversiteler, ülkeler hangileridir?
- b. Alanı yönlendiren en çok çalışmaların yayınlandığı akademik dergiler hangileridir?
- c. Alandaki en etkili, en çok atıf alan yazar, çalışma ve dergiler hangileridir?

- d. En çok çalışılan konu kavramlar hangileridir?
- e. Yıllar itibariyle makale sayılarındaki artış azalış?
- b) Bilimsel Alan Haritalama Kapsamında
  - a. Yazarlar, üniversiteler, ülkeler arasındaki ilişki ağı (ortak yazar analizi)
  - b. En çok çalışılan konular / kavramlar arasındaki ilişki ağı (ortak kelime analizi)
  - c. En çok atıf alan yazarlar, çalışmalar ve dergiler arasındaki ilişki ağı (ortak atıf analizi ve kaynakça eşleşmesi).

## 2. Bibliyometrik Analiz

Bibliyometrik teknikler çok sayıda ve dağınık olarak yer alan bilgi ağını anlamlandırmada bilgi ortamının kavranmasında bir analiz yöntemi olarak yer almaktadırlar. Literatürde yer alan bu yoğun bilgi akışını anlamak, kavramak, anlamlandırmak ve incelemek maksadıyla bibliyometrik analiz metotları önemli bir unsur haline gelmiştir Dereli (2024). Bibliyometrik analizin farklı kullanıcı grupları için farklı kullanım alanları söz konusudur. Farklı kullanıcı grupların bibliyometriği kullanımına ilişkin üç farklı grup bulunmakta olup bunlar sırasıyla metodolojik araştırma, bilimsel bilgi, bilimsel politikası ve yönetim için bibliyometriği olarak söylenebilir. Buna göre bibliyometrik analiz “bir araştırmacının araştırmanın konusu ilgili en çok atıf alan en üretken ve etkili olan yazarlar, dergiler, kurumlar, ülkeler ve bunlar arasındaki ilişki / iş birliğine dair görsel bir haritalanma sunmaktadır (Kurutkan ve Orhan, 2018:8). Bibliyometrik analiz bir araştırma alanının yapısını ve geçirdiği anlamda nicel ve objektif bir yaklaşım sunmaktadır (Gutierrez-Salcedo vd., 2018: 1276). Böylelikle bibliyometrik araştırmalar herhangi bir araştırma alanını analiz ederken ilgili alanın tanımlanmasında ve kapsamın belirlenmesinde sistematik, şeffaf ve tekrarlanabilir bir inceleme süreci başlatma ve dolayısı ile incelemelerin kalitesini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu vesileyle bibliyometrik analizin geleneksel literatür araştırmalarının yerini alan değil onların tamamlayıcısı bir araştırma olarak söylenebilir (Zupic ve Cater, 2015:436). Bibliyometrik araştırmalar belirli bir araştırma “alanın yapısını ortaya çıkarmaya” odaklanır (Block ve Fish, 202:308). Bibliyometrik analizlerde literatürde akademik anlamda performans üç farklı ölçüte göre belirlenmekte (Guittierrez-Salcado vd., 2018a) olup bunlar; dergi performansını ölçmeye yarayan metrikler (Dergi Etki faktörü, Derginin Çeyreklik ve Yüzdelik Değerleri, Dergi h-dizini, Toplam Makale Sayısı, Toplam Atıf Sayısı) , bireysel performansı ölçmeye yarayan

metrikler (h indeksi, g indeksi, hg indeksi, merkez ve otorite indeksleri, indirme istatistikleri) ve bibliyometrik yasalar (Lotka yasası, Bradford yasası, Zipf yasası, Price yasası ve Grafield yasası) şeklinde özetlenebilir.

Böylelikle bibliyometrik analizler, literatür incelemesi aracı olarak kullanılabilmekte ve tamamlayıcı bir işlev sağlamaktadır.

### 3. Havacılık-Yönetimi ve Yapay Zekâ

Havacılık Yönetimi, havacılık sektöründe yer alan işletmelerin; pazarlama, finans, muhasebe başta olmak üzere gerekli her türlü operasyona dayalı faaliyetin kalite, kontrol ve emniyetini denetleyecek yetkin personellerin yetiştirilmesini amaçlayan akademik bir disiplindir. Bu bölüm, havayolu şirketlerinden havaalanlarına, lojistik hizmetlerden uçak bakımına kadar geniş bir yelpazede yer alarak uçuş operasyonları, hava trafiği yönetimi, gelir yönetimi, uçak bakımı, havaalanı yönetimi gibi konuları kapsar. Teachcareer (2025). Havacılık yönetimi, havacılık sektöründeki çeşitli işlerin planlanarak organize edilmesi, yönetilmesi ve gerekli durumlarda denetlenmesi konularını içerir Kopilot (2024). Havacılık yönetimin bir konusu olan dijital uçuşlar havayolu uçuş operasyonlarının geleneksel yöntemlerden uzaklaşarak, veri ve yazılım temelli sistemlerle yönetilmesi anlamına gelir. Bu yaklaşım, havacılık endüstrisinde emniyeti artırırken, operasyonel verimliliği de üst düzeye çıkarır. Gerçek zamanlı veri akışı ve akıllı karar destek sistemleri sayesinde modern havacılık daha öngörülebilir hale gelir. Günümüzde dijitalleşmenin bir gelişimi doğrultusunda havayolu yönetiminde yapay zekanın ülkemizde ve dünyada birçok uygulama alanları bulunmaktadır. Havayolu yönetiminde bu dijitalleşmenin artmasının dört temel nedeni söylenebilir Kaya (2025a):

- a) Emniyet: Hata payının minimize edilmesi risk yönetimini güçlendirmesi, güvenli uçuş operasyonu sağlanması,
- b) Sürdürülebilirlik: Yakıt tüketimi azalır, karbon ayak izini küçültür ve çevre dostu havacılığı destekler,
- c) Verimlilik: Operasyonel süreçleri hızlandırır, kaynak kullanımını optimize edere ve maliyetleri düşürür,
- d) Hızlı Karar Alma: Anlık veri analiziyle kritik kararların saniyeler içinde alınmasını sağlar.

Bu manada bir havayolunda dijital uçuş ekosistemi yaşam döngüsü üç aşamadan oluştuğu bahsedilebilmekte olup sırasıyla bunlar; uçuş öncesi (planlama, hazırlık ve risk değerlendirmeleri), uçuşta (gerçek zamanlı izleme ve karar destekleri) ve uçuş sonrası (analiz, raporlama ve sürekli

iyileştirmedir). Bu uçuş ekosistemine yönelik aşağıdaki uygulama örneklerini aşağıda belirtilmektedir Kaya (2025b):

a) Uçuş Öncesi Uygulama Örnekleri

- a. Uçuş Planlama (Rota optimizasyonu ve alternatif planlar),
- b. Hava Durumu Analizi (Rota optimizasyonu ve alternatif planlar),
- c. NOTAM incelemesi (Havalimanı ve hava sahası bilgilendirmeleri),
- d. Yakıt Hesaplama (Yakıt ihtiyacı ve rezerv hesaplamaları)
- e. Performans ve Ağırlık & Denge Hesaplamaları (Uçak performans ve Ağırlık denge bilgilerinin doğrulanması)

b) Havada Destek Uygulama Örnekleri

- a. Gerçek Zamanlı Uçağın İzlenmesi (Uçağın konumu, hızı ve irtifası anlık olarak takip edilir. Her saniye güncellenen verilerle operasyon merkezi tam kontrol sağlar),
- b. Dijital Harita ve Navigasyon (Uçağın kullanacağı dijital harita ve Navigasyon sistemleri ile uçak yolu son derece hassas biçimde oto pilot ile uçar),
- c. ACARS & ADS-B Sistemleri (Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS) ve Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) ile kesintisiz veri iletimi gerçekleşir),
- d. EFB sistemleri (Uçuş için gerekli tüm hesaplamaları, doküman ve bültenlerin dijital yönetimi yapılır).

c) Uçuş Sonrası Uygulama Örnekleri

- a. EFB Sistemleri ve Yakıt Analizleri (Gerçek yakıt tüketimi planlananla karşılaştırılır Verimlilik metrikleri çıkarılır ve gelecek uçuşlar için optimizasyon fırsatları belirlenir),
  - i. Uçuş Verilerinin İzlenmesi (FDM) (Uçuş boyunca kaydedilen binlerce parametrenin analizi yapılır. Bu veriler sayesinde operasyonel trendler belirlenir ve emniyet standartları sürekli geliştirilir)
- b. Emniyet Geri Besleme Döngüleri (Safety Feedback Loop). (Pilot raporları, teknik gözlemler ve sistem kayıtları birleştirilerek emniyet kültürü güçlendirilir. Sürekli iyileştirme döngüsü devam eder)

Havacılık sektörü teknolojik değişikliklerin en hızlı ve en yaygın kullanıldığı alanlardan biridir. Bu manada dijitalleşme ve bunun bir türevi olan yapay zekâ uygulamaları havacılık sektöründe oldukça etkin rol oynamaktadır (Lebedev & Kulida, 2021). Makine öğrenmesi algoritmaları ve bilgisayar görüş sistemleri gibi yapay zekâ teknolojileri, uçak sensörleri, hava durumu raporları ve hava trafik kontrol sistemleri gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerin izlenmesi ve analiz edilmesi için kullanılmaktadır. Uçuş operasyon elden edilen anlık veriler analistler tarafından değerlendirilerek olumsuz olaylar yaşanmadan tedbirler alınması kapsamında oldukça önemli bir yetkinliğe sahip olduğu söylenebilir (Ni vd., 2019). Yapay zekâ uzun süredir uçuş yönetim sistemleri ve oto pilotlar gibi konularda havacılık endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Dünya'nın önde gelen havayolu şirketleri işletme verimliliğini arttırmak, pahalıya mal olan hatalardan kaçınmak ve müşteri memnuniyetini yükseltebilmek için yapay zekadan istifade etmektedir.

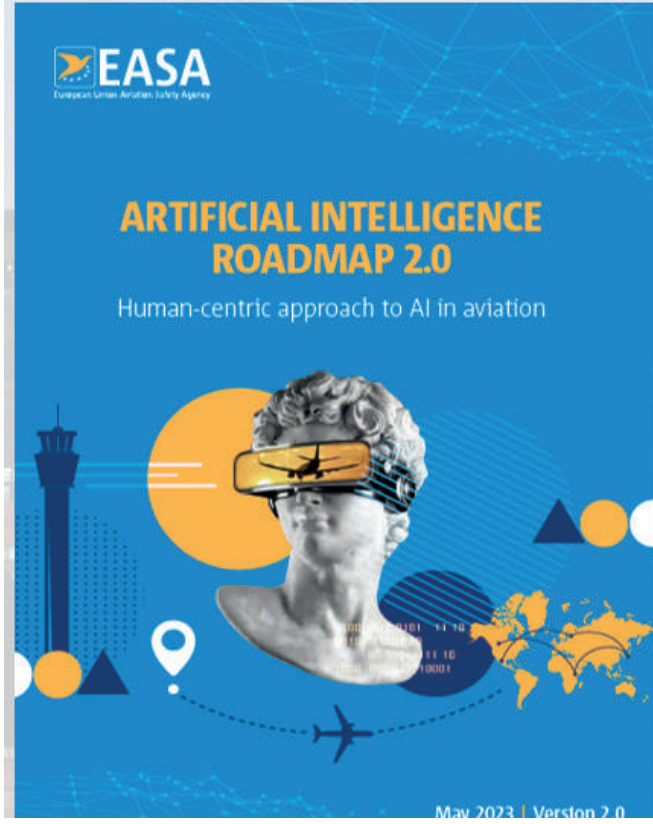
Havayolları ve uçuş işletmecileri, filolarını ve operasyonlarını yapay zekâ destekli sistemler ile iyileştirerek işletme maliyetlerinde ek masraflarda tasarrufa gidebiliyor. Yapay zekâ, dinamik fiyatlandırma yardımıyla seyahat özelliklerine göre ayarlanmış temel ücreti optimize edebilir, en iyi uçuş rotasını hesaplayabilir, sosyal medyada yapılan duyarlılık analizleriyle müşteri memnuniyetini ölçerek problemleri saptayabilir. Bunların yanı sıra, uçuş öncesi, havaalanı, uçuş sırası, uçuş sonrası müşteriye dokunan birçok işlemde yapay zekâ kullanılmaktadır Herkesicinhavacılık (2024).

Yapay zekâ uçuş hizmetlerinde de kullanılmaktadır örneğin Pegasus Havayolları mobil uygulama üzerinden akıllı asistan FlyBot ile “ChatGPT ile Seyahatini Planla” butonunu kullanarak, yapay zekanın sunduğu hızlı ve etkili çözümlerle anında seyahat planı hizmete sağlamakta, FlyBot’u ChatGPT yapay zekâsı ile güçlendirerek yolculara interaktif ve akıllı bir iletişim deneyimi sunmaktadır Pegasus (2025). Türk Hava Yolları, “Gerçek Zamanlı Havayolu Verileriyle Yapay Zekâyı Güçlendirmek” başlıklı çalışmasında Turkish Technology Digital Lab’de seyahat deneyimlerini nasıl geliştirebileceğini araştırmış ve Anthropic’in 2024 sonlarında tanıttığı Model Context Protocol (MCP) ile, yapay zekâ asistanlarını doğrudan havayolu sistemlerimizle entegre etme fırsatını elde etmişler ve sonuç olarak; Turkish Airlines MCP Sunucusu—yapay zekâ modellerinin canlı havayolu verilerine ve servislere güvenli ve verimli bir şekilde erişmesine olanak tanıyan işlevsel bir uygulaması sağlanmıştır. Turkishtechnology (2024). Bir başka uygulamada ise THY, veri ve yapay THY, veri odaklı bir kuruma dönüşmesine yardımcı olması için Red Hat’ Open Shift AI seçmiş olup bu sayede; havayolu bileti satışlarında daha doğru dinamik fiyatlandırma ve operasyonel verimlilik, Türk Hava Yolları ister müşteri kart ödemeleri ister Miles&Smiles sadakat

programı üzerinden olsun, dolandırıcılığı önlemeye yönelik gelişmiş modeller sayesinde işlemleri daha yüksek doğrulukla tarayabilmektedir. Dinamik fiyatlandırma modellerinin doğruluğunun artırılması, bilet satışlarını daha etkili yönetme imkânı sağlandığı ifade edilmiştir Capital (2025). Schipol havalimanında bulunan Spencer; yolcuların kalkış kapılarına yönlendirmeye yardımcı olmak için tasarlanmış yolcu rehberlik robotudur FTA (2016). Yolcu biniş kartlarını tarar ve onları doğru kalkış kapısına yönlendirir.

Spirit Havayolları biyometrik özellikli otomatik bagaj “check-in” sürecini başlattı Terminal (2024). Böylelikle yapay zekânın uçuş emniyetini artırmaktan havayolu operasyonlarını en etki ve verimli hale getirmesine kadar havacılık sektörünün birçok alanında kritik bir rol oynamaktadır Research (n.d). Avrupa Birliği (EU) 2023 yılında yayınladığı dokümanda birlik içinde yetişkinlerin yalnızca %56’sının temel dijital becerilere sahip olduğunu ve ortaokul öğrencilerinin %43’ü temel becerilere ulaşamamıştı. 2024-2025 yıllarında birlik çalışanlarının %92’si işlerini yapmak için dijital becerilere ihtiyaç duyacaklarını son olarak da %30’u işlerinde yapay zekâ kullandıklarını belirtmişlerdir Cosgrove ve Cachia (2025). Kısaca adı EASA olarak bilinen kurum Avrupa Birliğinin havacılık alanındaki en yetkili kurumudur. EASA birlik adına havacılıkta yapay zekâ uygulamalarına geçiş kapsamında aşağıdaki resimde görüldüğü üzere bir yol haritası çıkartmıştır EASA (2023). Bu stratejik yol haritası havacılıkta yapay zekâ uygulamasında insan odaklı bir yaklaşımın benimsenmesine odaklandı.





*Resim 1: EASA Roadmap 2.0*

2023 yılından bu yana bu yol haritası kapsamında EASA günümüze kadar Resim 2’de görüleceği üzere daha birçok yayın çıkarmış ve bunlara devam etmektedir Ergun (2025).





*Resim 2: EASA Yapay Zekâ Geçiş Süreci Yayınları*

Yapay zekâ uygulamalarının süreç içerisinde havacılığın bir çok alana gittikçe artan bir şekilde yayılacağı ve özellikle insan unsurunun yaptığı birçok işin; örneğin ticari uçuşlarda, iki pilot yerine tek pilotla uçulması, yol boyu hava trafik kontrollerinde, ağ yöneticilerinde, insansız hava aracı pilotlarında, hava sahası yöneticilerinde, güvenlik çalışanları gibi pek çok görevlerde öncelikle kısmen, daha sonra yarı yarıya ve belli bir süre sonra tamamen yapay zekan tarafından yapılması öngörülmektedir (Arrigoni ve Cavagnetto;2023). Yapay zekâ havacılık sektöründe özellikle uçuş eğitimleri ve operasyonları alanında hızlı bir dönüşüm sağlamaktadır. Havayolları ve işletmeciler sürekli daha etkili ve verimli çalışma yöntemleri aramaktadır. Yapay zekâ algoritmaları havacılık yönetimi operasyonlarında akıllı karar vermeyi mümkün kılmakta, hava durumu, gecikme olasılıkları ve bakım ihtiyaçları önceden tahmin etmekte, rota planlaması, yakıt kullanımı ve kapasite yönetimi optimize edilebilmekte, normal durumlar dışında anında fark edilir ve önleyici aksiyonlar alınmasına olanak sağlamaktadır. Bu manada yapay zekanın havacılık yönetimi alanında devrim yaratacağı şimdiden söylenebilir.

Havalimanlarında yapay zekâ, check-in bagajlarının taşınması ve teslim alınması sürecini daha verimli hale getirebilir ve kayıp bagaj olasılığını azaltabilir. Havalimanları, bilgisayarlı görü ve makine öğrenimi gibi en son teknolojileri kullanarak bagaj sıralama, izleme ve yönetimi süreçlerini kolaylaştırabilir. Yapay zekâ destekli bagaj taşıma sistemleri,

atlı karıncaya yerleştirilen ve yolcular tarafından toplanan bagajların sayısını izleyebilmektedir. Bu tür bir gözetim ile havayolları hiçbir çantanın sahipsiz kalmamasını ve tüm yolcuların bagajlarını almasını garanti edebilir Ultralytics (2024a). Havacılıkta bilgisayarlı görmenin ilginç bir uygulaması, uçak iniş mesafelerini hesaplamaktır. Henüz yaygın olarak kullanılmasa da bilgisayarlı görme, cihazlar arızalanırsa bir yedek görevi görebilir ve düşük görüş koşullarında inişe yardımcı olabilir. İniş prosedürlerini daha güvenli ve daha güvenilir hale getirebilir Ultralytics (2024b). Tedarik zinciri yönetimi alanında yapay zekâ tabanlı sistemler, havacılık endüstrisinde daha etkin ve verimli operasyonlar sağlamak için önemli bir rol oynayabilmektedir. Yapay zekâ tabanlı sistemler, stok yönetiminden tedarikçi ilişkilerine ve dağıtım süreçlerine kadar bir dizi kritik faaliyeti optimize etmede kullanılabilmektedir. Yapay zekâ, talep tahminleri üzerinde analiz yaparak stok seviyelerini optimize edebilmekte, tedarikçi performansını izleyebilmekte ve lojistik verileri kullanarak en hızlı dağıtım yollarını belirleyebilmektedir. Yapay zekâ, havacılık tedarik zincirinde maliyetleri düşürme, teslimat süreçlerini hızlandırma ve genel operasyonel verimliliği artırma potansiyeli sunmaktadır. Yapay zekanın doğru entegrasyonu, havacılık endüstrisinin rekabet avantajını güçlendirebilmekte ve sürdürülebilir büyümeye katkı sağlayabilmektedir İlge (2024). Yolcu deneyimi için de yapay zekâdan destek alınması muhtemel gözüküyor. Yolculara daha kişiselleştirilmiş hizmetler sunmak için yapay zekâ destekli sohbet robotları ve öneri sistemleri kullanılması bekleniyor. Yolcuların seyahatleri boyunca soracakları sorulara hızla yanıt alabilmeleri ve ihtiyaçlarının sohbet robotları vasıtasıyla yetkililere iletilmesi, daha rahat ve keyifli yolculukların oluşmasına yardımcı olacağı tahmin edilebiliyor Innova (2023). Havaalanlarında yoğun veya kalabalık alanlara otonom olarak ve ekipler halinde hareket edebilen akıllı check-in kioskları robotik kioskla örnekler L.K (2018). Uçuş ve yolcu akış bilgileri check-in kiosklarının ne zaman ve nerede gerekli olduğunu algılamak için bu kiosklerden yararlanılabilir. Yapay sinir ağlarının kullanılmasıyla, uçaklar için yedek parça talebinin tahmin edilmesi (Sahin vd., 2013), yolcu bagajlarındaki yasa dışı nesnelerin belirlenmesi (Muthukkumarasamy vd., 2004), uçuş sırasında kanatta ve kuyrukta oluşan uçak içi yüklere bağlı etkilerin analiz Kim ve Marciniak (2001) mümkün olabilmektedir.

Özetle yukarıda belirtilen açıklamaların ışığı altında havacılık yönetiminde yapay zekâ uygulamalarının birçok fayda sağladığı ve gelecekte bu faydaların artarak devam edeceği söylenebilir. Bu alanda özellikle yapılan tüm çalışmaların insan merkezli bir tasarımla gerçekleşmesi oldukça önemlidir. Nihayetinde, yapay zekâ uygulamalarıyla sektörel alanda yaşanan

birçok zorluk daha rahat aşabilecek ve işletmeler daha ekonomik, verimli, sürdürülebilir havacılık yapabilme imkanına sahip olabilecektir.

#### 4. Araştırmanın Amacı

Bu çalışma yapay zekâ uygulamalarının havacılık yönetimi alanındaki entelektüel yapısını, kavramsal yapısının, sosyal yapısını ortaya konulması, son yıllardaki evrimsel gelişimini (kavram, yazar, atıf ve/veya bunların birbirleriyle ilişkisi açısından) ortaya koymak ve alandaki üretkenliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

#### 5. Yöntemi

Çalışmada bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bibliyometrik analiz, araştırma eğilimlerini ve keşifleri takip etmek için güçlü bir tekniktir. İlk adım, uygun bir veri tabanı seçmektir. Erişilebilir veri kaynakları arasında Scopus, Web of Science (WoS), MEDLINE, Cochrane Library, PubMed, Science Direct, IEEE Xplore, EBSCO, Taylor & Francis ve Springer bulunmaktadır. Veritabanı seçildikten sonra, bilgiler “dahil etme” ve “hariç tutma” kriterleri uygulanarak filtrelendir. VOSviewer, CiteSpace, SciMAT, BibExcel, Publish or Perish, HistCite, Biblioshiny (R Package), Sci2 Tool, CitNetExplorer ve BiblioMaps gibi bir veya daha fazla yazılım programı birlikte kullanılarak bibliyometrik analiz yapılabilir.

İlk aşamada veriler öncelikle Web of Science (WoS) dan elde edilen veriler NotePad yazılımı vasıtasıyla tek bir dosyada birleştirilmişlerdir. Bibliyometrik araştırmalarda başlıca iki analiz prosedürü uygulanmaktadır (Cobo vd., 2011; Gutterrez-Salcedo vd., 2018b): performans analizi (bilimsel çıktılar açısından alanın genel görünümü) ve bilimsel alan haritalama (yazarlar-çalışmalar—kavramlar-atıflar arasındaki ilişki ağları). Araştırma analizleri için VoSviewer programı kullanılarak yapılmıştır. VoSviewer ile bibliyometrik analiz sürecinin adımlarını sırasıyla belirtecek olursak öncelikler yazılım dosyasına erişim; araştırma konusunun ve yönteminin belirlenmesi ve ağ verilerine erişim; gerçekleştirilecek analizlerin belirlenmesi, yazılımın kurulumu ve analiz sürecinin başlanması, görsel çıktıların ve haritaların oluşturulması ile bulguların ve sonuçların yazımı şeklinde ifade edilmiştir.

##### 5.1. Araştırma Stratejisi

Belirtilenler doğrultusunda araştırma kapsamında cevabı aranan sorular aşağıda ifade edilmiştir: Makalelerin yıllara göre dağılımı nedir? Makalelerin en çok yayımlandığı dergilere göre dağılımı nedir? Araştırma kapsamında en çok atıf alan makaleler ve atıf sayıları nedir? Anahtar kelime ağında yaygın

kullanım alanı bulan kelime nedir? Referans, dergi ve yazar ortak atıf ağında öne çıkan öğeler nelerdir? Bibliyografik eşleşme analizine göre makalelerin benzerlik durumu nedir? Ortak yazarlık analizine göre üniversitelerin ve ülkelerin iş birliği durumu nedir? şeklinde yer almaktadır.

## 5.2. Yürütme Aşaması

Çalışmanın yürütülmesi temel olarak dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

- 1) Araştırmanın Amacı
- 2) Literatüre ilişkin Veri Setinin Oluşturulması
  - o Veri Tabanı Seçilmesi (Web of Science (WoS))
  - o Sarama Yapılacak Terimlerin Seçilmesi
  - o Filtreleme
  - o Veri Seti Dosyasının İndirilmesi (VoSviewer yazılımına uygun şekilde)
- 3) Araştırma Analizleri ve Görselleştirme
  - o Performans analizleri
  - o Görsel haritalar
- 4) Sonuç ve Tartışma
  - o Araştırma sorularının cevaplanması
  - o Bulguların özeti
  - o Pratik çıkarımlar
  - o Gelecek için öneriler

olarak yer almaktadır.

## 5.3. Seçim Kriteri

Arama, 10 Ekim 2025 tarihinde Web of Science veri tabanı arama motorunda belirtilen sorgu kullanılarak gerçekleştirildi. Bu arama sonucunda toplam 11.118 belge bulundu. Sonuçları daraltmak için Tablo 1'de özetlendiği gibi sonraki filtreleme adımları uygulandı. Filtreler arasında yalnızca İngilizce ve Türkçe yayınların ve hakemli makalelerin seçilmesi ve yayın tarihinin son altı yıla sınırlandırılması yer aldı ve sonuçta 1509 makale elde edildi. Ayrıca, tam metinlere sınırsız erişim sağlamak için yalnızca açık erişimli makaleleri görüntüleme seçeneği etkinleştirildi.

**Tablo 1. Makale toplama, filtreleme ve tarama stratejisinin özeti**

| Adım                                    | Eylem                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Çıktı Miktarı      |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1. Seçilen arama terimlerinin girilmesi | Araç Bağlamı ve Sektör Bağlamı (artificial intelligence aviation management OR deep learning aviation management OR machine learning aviation management OR artificial intelligence air transportation management OR deep learning air transportation management OR machine learning air transportation management OR artificial intelligence air traffic management OR deep learning air traffic management OR machine learning air traffic management OR artificial intelligence airport management OR deep learning airport management OR machine learning airport management OR artificial intelligence safety management OR deep learning safety management OR machine learning safety management OR artificial intelligence aircraft maintenance management OR deep learning aircraft maintenance management OR machine learning aircraft maintenance management OR artificial intelligence revenue management OR deep learning revenue management OR machine learning revenue management OR artificial intelligence fleet management OR deep learning fleet management OR machine learning fleet management, OR artificial intelligence airworthiness management OR deep learning airworthiness management OR machine learning airworthiness management. | 11.118 belge       |
| 2. Filtreleme                           | Sorguyu yalnızca İngilizce ve belgelerle sınırlandırma.<br><br>Belge türünü makalelerle sınırlandırma.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 10.999<br><br>7472 |
| 3. Yıl                                  | 2018-2026                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 7182               |

|                       |                                                                            |                                       |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 4. İkincil Konular    | 1) Ulaştırma                                                               | 663                                   |
|                       | 2) Bakım ve Emniyet                                                        | 330                                   |
|                       | 3) İletişim                                                                | 245                                   |
|                       | 4) Tedarik Zinciri ve Lojistik                                             | 168                                   |
|                       | 5) Güvenlik Sistemleri                                                     | 110                                   |
|                       | 6) Yönetim                                                                 | 90                                    |
|                       | 7) Turizm ve Konaklama                                                     | 48                                    |
|                       | 8) Risk Değerlendirmesi                                                    | 29                                    |
|                       | 9) İnsan Bilgisayar Etkileşimi                                             | 23                                    |
|                       | 10) Modelleme ve Simülasyon                                                | 14                                    |
|                       | 11) Yöneylem Araştırmaları                                                 | 8                                     |
|                       | 12) Ekonomik Teori                                                         | 6                                     |
|                       | 13) Sosyal Psikoloji                                                       | 6                                     |
|                       | 14) İnsan Coğrafyası                                                       | 6                                     |
|                       | 15) Hukuk                                                                  | 5                                     |
|                       | 16) Sosyal Reform                                                          | 5                                     |
|                       |                                                                            | Toplam 1.779                          |
| 5. Araştırma Alanları | 1) Mühendislik                                                             | 944                                   |
|                       | 2) Bilgisayar Bilimi                                                       | 31                                    |
|                       | 3) Ulaştırma                                                               | 300                                   |
|                       | 4) İşletme Ekonomisi                                                       | 186                                   |
|                       | 5) Yöneylem Araştırması Bilimi                                             | 158                                   |
|                       | 6) Çevrebilimi ve Ekoloji                                                  | 90                                    |
|                       | 7) Sosyal Bilimler                                                         | 72                                    |
|                       | 8) İş sağlığı ve Güvenliği                                                 | 15                                    |
|                       | 9) İş İdaresi                                                              | 15                                    |
|                       | 10) Psikoloji                                                              | 12                                    |
|                       | 11) Kanun                                                                  | 11                                    |
|                       | 12) İletişim                                                               | 5                                     |
|                       | 13) Sosyoloji                                                              | 3                                     |
|                       | 14) Davranış Bilimleri                                                     | 2                                     |
|                       | 15) Sosyal Konular                                                         | 2                                     |
|                       |                                                                            | Toplam 1.509<br>yayınlanmış<br>makale |
| 6. Tarama             | Tam erişim sadece Özetleri ve anahtar kelimeleri uygunluk açısından tarama | 1.509                                 |
| 7. Nihai seçim        | Çift yayınların çıkartılması                                               | 1.509                                 |

*Kaynak: Yazar tarafından oluşturuldu.*

#### 5.4. Biblometrik Yazılımları

Yaygın olarak kullanılan bibliyometrik analiz yazılımları VOSviewer, CiteSpace, Sci-MAT, BibExcel, Publish or Perish, HistCite, Biblioshiny (R Package), Sci2 Tool, CitNetExplorer, BiblioMaps'ın güçlü ve zayıf yönleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Çalışmada Biblometrik analiz kapsamında ücretli

erişim olması ve kullanıcı dostu olması sebebiyle WoSviwer 6.20 versiyonu kullanılmıştır. Arslan (2022: 50) VoSviewer yazılımının bibliyometrik haritalama yazılımının belirli bir bilim alanında yapılan çalışmaların görselleştirilmesinde etkili araçlar sağladığını vurgulamaktadır.

## 6. Veri Toplama ve Analiz

Veriler 1 Ekim 2025 tarihinde, “havacılıkta yapa zekâ” anahtar kelimesiyle bütün alanlar seçilerek yapılan araştırmada toplam 1118 belgeye ulaşıldı. Yıllara göre en eski 2018 en yeni 2025 yılı olmak üzere 15 farklı alanlarda yapılmış 16 başlıkta yer alan konularda yer alan 1509 makale, 51 erken erişim, 3 kitap bölümü, 4 bildiri, 2 geri çekilen yayına ulaşıldı. Elde edilen veri, yazar, atıf, dergi, ülke, kurum, anahtar sözcük ve öz analizleri üzerinden incelendi. Veri Tabanı olarak Web of Science ‘da endekslenen içerikler kriter alındı Web of Science (2025).

## 7. Bulgular

Bu şekilde elde edilen 1509 çalışma/araştırmanın verileri, bibliyometrik analiz için analiz edilecek alanların verileri indirilerek VoSviewer yardımcı programı ile analiz edildi. “Web of Science (WoS)” veritabanı sorgusundan sonra “export” ile elde edilen “ful.txt” dosyasındaki bu veriler, VoSviewer sürüm 1.6.20 yardımcı programında bibliyometrik haritalama ile analiz edildi.

### 7.1. Web of Science Atıf Yapılan Mikro Konular

Web of Science atıf yapılan mikro konularına göre dağılım yapıldığında ilk 25 konu kapsamında aşağıdaki bölümlendirme haritası Şekil 1’de yer almaktadır.



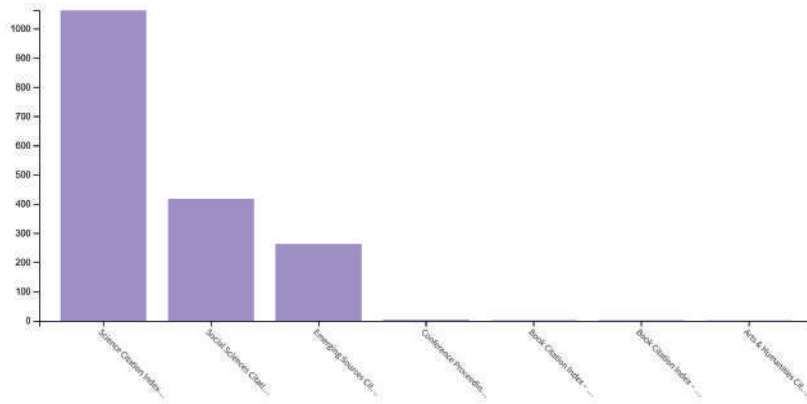
Şekil 1: Mikro Konular Kapsamında Yapılan Atıflar

Buna göre havacılık yönetimi alanında en fazla atıf alan alt konular; hava ulaştırma sistemleri (1509 makalenin %16.7), İş sağlığı ve güvenliği (1509 makalenin %112,2), trafik emniyeti (1509 makalenin %9.9), Trafik akışı (1509 makalenin %9), AI etik (1509 makalenin %7.8), Tedarik Zinciri Optimizasyonu (1509 makalenin %5,9), Güvenirlilik mühendisliği (1509 makalenin %3.9), Blok zincir (1509 makalenin %3.0), Kentsel Hareketlilik (1509 makalenin %2.8), Tüketici Davranışı (1509 makalenin %2.2) olarak yer almaktadır.

## 7.2. Web Of Science İndeksleri Sıralaması

Yayınlanan 1509 makalenin Web of Science İndekslerindeki dağılımı Şekil 2'de yer almaktadır.



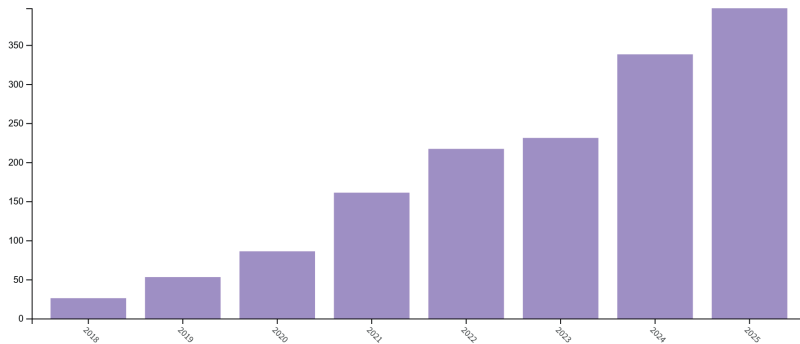


Şekil 2: Web of Science İndeks Sıralaması

Buna göre Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) de yayınlanan makaleler (1509 makalenin %70.4), Social Sciences Citation Index (SSCI) (1509 makalenin %27.6), Emerging Sources Citation Index (ESCI) (1509 makalenin %17.4), onference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S) (1509 makalenin %0.3)’üne karşılık gelmektedir.

### 7.3. Makalelerin Yıllara Göre Yayın Sayısı

Makalelerin 2018 yılından bu yana yayın sayıları Şekil 3’de yer almaktadır.

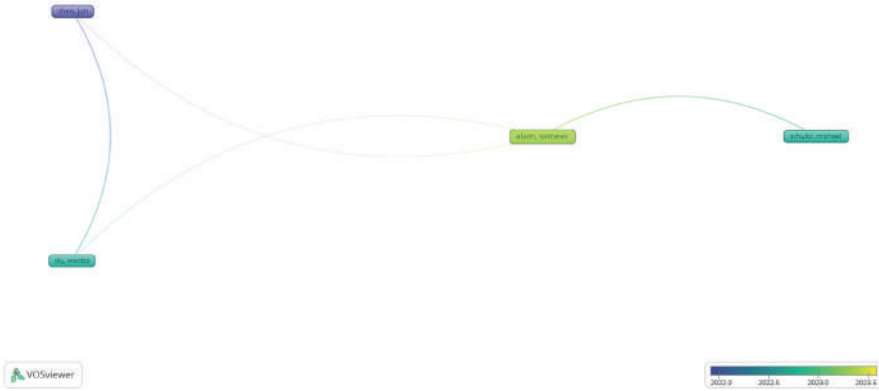


Şekil 3: Yıllara Göre Yayın Sayısı

Buna 2025 yılında 397, 2024 yılında 338, 2023 yılında 231, 2022 yılında 217, 2021 yılında 167, 2020 yılında 86, 2019 yılında 53 ve 2018 yılında 26 adet yayınlanmıştır. Görüldüğü üzere, 2018 yılında hemen hemen çok as sayıda makale yer alırken, özellikle Covid-19 sonrası hızlı bir artış trendi gözlemlenmektedir. Önümüzdeki yıllarda bu artışın daha da fazla olacağını söylenebilir.

## 8. Ortak Yazar Analizi (Co-Authorship of Authors)

Havacılık yönetiminde yapay zekâ uygulamalarının sosyal yapısını ortaya çıkarmak için bu analiz tekniğini kullanılmıştır. Özellikle alandaki yazarlar / üniversiteler / kurumlar veya ülkelerin ilişki ağını göstermek için kullanılmıştır Öztürk ve Gürler (2021a: 58). VoSviewer’ın ortak yazarlık analiz yöntemini kullanarak, en az 1 makalesi yayınlanmış ve en az 2 atıf almış Her bir belgede yer alacak azami yazar sayısı 25 seçildiğinde, her bir yazarın asgari belge sayısı 5 olduğunda ve her bir yazarın asgari atıf sayısı 3 olduğunda 5247 yazar içerisinde bu eşiği sağlayan 30 yazar olduğu tespit edilmiş olup ilgili ilişki ağı Şekil 4’te görselleştirilmiştir.



Şekil:4 Ortak Yazar Analizi

**Kaynak:** Yazar tarafından WoS veri tabanından elde edilen veriler kullanılarak VoSviewer programı ile oluşturulmuştur.

Üst katman görselleşmesinde görüldüğü üzere ortak yazarlık olarak ilişki ağı oldukça yetersizdir. Bununla birlikte; en yüksek ortak atıfta bulunan ilk üç yazar sırasıyla 14 belge, 506 atıf 10 toplam bağlantı gücüyle “Abdel-Aty Mohammed”, 5 belge, 340 atıf, 0 toplam bağlantı gücü ile “Niyato Dusit” ve 10 belge, 243 atıf ve 7 toplam bağlantı gücü ile “Liu Yongming” olmuştur.

## 9. Birlikte Oluşum- Anahtar Sözcük Analizi (Co Occurrence Keywords Analysis)

Bu analiz ile alanın kavramsal yapısı ortaya çıkarılmaya çalışmış olup, alandaki anahtar kelimeler veya konular arasındaki ilişkileri temsil eder. Bu analiz, bu araştırma alanındaki en önemli ve en yeni konuları ve bunlar arasındaki ilişkileri belirlemede kullanılmaktadır Öztürk ve Gürler (2021b: 58). Anahtar kelimeler, araştırma içeriğinin özünü ve bağlamını yansıtan kelimeler olarak tanımlanabilir. Bu nedenle, anahtar kelimeler, araştırma içeriğinin özünü ve bağlamını yansıtan kelimeler olarak tanımlanabilir. Anahtar kelimeler, araştırma içeriğinin özlü ancak bilgilendirici bir şekilde tanımlanmasında önemli bir rol oynar (Rajagopal vd.; 2017). Anahtar kelimelerin birlikte kullanımını analiz ederek, araştırmacılar kümeleri belirleyebilir, altta yatan kalıpları ortaya çıkarabilir ve tematik ilişkileri belirleyebilir. Bu yaklaşım, anahtar kelimeler arasındaki bağlantıların, araştırılan bilimsel veya teknik alanın bilgi yapısını yansıttığı varsayımına dayanmaktadır (Radhakrishnan vd.; 2017; Stegmann ve Grohmann 2003).

1509 makaleden oluşan örneklemimizde toplam 5143 anahtar kelime belirledik. Her anahtar kelime için minimum 3 kez kullanım eşiği uygulayarak, eşiği aşan 479 anahtar kelimeden oluşan rafine bir liste elde ettik (bkz. Tablo 2).

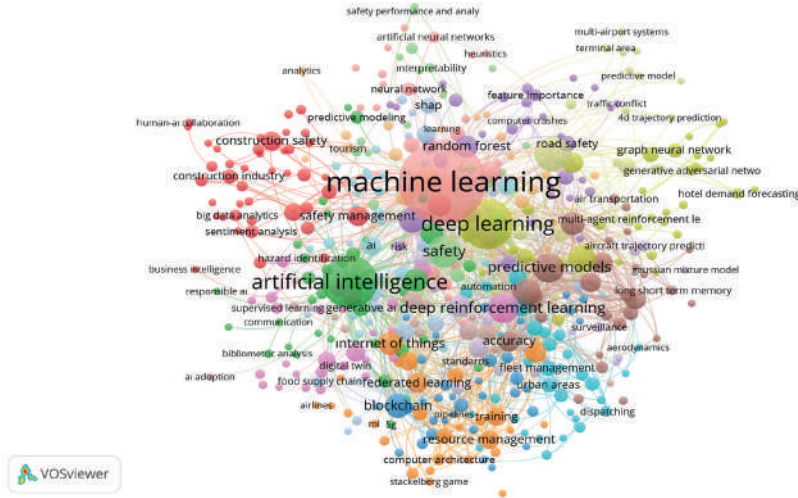
“Makine öğreniminin” 431 sıklık ve 996 bağlantı gücü ile en üst sırada yer alması şaşırtıcı değildir. Arama açısından bu, “makine öğreniminin” bu özel çalışma alanında literatürü araştırmak için kullanılan en öne çıkan anahtar kelime olduğunu göstermektedir. Sıkça geçen diğer anahtar kelimeler arasında “yapay zekâ” (sıklık = 166, bağlantı gücü = 458), “derin öğrenme” (sıklık = 152, bağlantı gücü = 459 ve “hava trafik yönetimi” (sıklık = 72, bağlantı gücü = 195) bulunmaktadır ve bunlar araştırılan konu ile uyumludur.

Tablo 2. Anahtar Kelimeler

| Anahtar Kelimeler           | Frekans | Toplam Bağlantı Gücü |
|-----------------------------|---------|----------------------|
| machine learning            | 431     | 996                  |
| artificial intelligence     | 166     | 458                  |
| deep learning               | 152     | 459                  |
| air traffic management      | 72      | 195                  |
| safety                      | 57      | 314                  |
| deep reinforcement learning | 52      | 98                   |
| predictive models           | 49      | 389                  |
| data models                 | 43      | 352                  |
| reinforcement learning      | 40      | 127                  |
| risk management             | 37      | 155                  |
| blockchain                  | 34      | 124                  |
| internet of things          | 31      | 161                  |
| big data                    | 30      | 95                   |
| air traffic control         | 30      | 145                  |
| revenue management          | 29      | 69                   |

Tablo 2’de görüleceği üzere en sık kullanılan ilk beş terime baktığımızda birinci kelime makine öğrenmesi (431) daha sonra yapay zekâ (166), üçüncü olarak derin öğrenme (152), dördüncü olarak hava trafik yönetimi (72) akabinde emniyet (57) yer almaktadır.

VoSviewer kullanarak Şekil 5’te gösterildiği gibi bir anahtar kelime görünüm haritası oluşturduk. Bu harita, örneklemimizdeki farklı temaları temsil eden üç farklı literatür kümesi olduğunu ortaya koydu. Birincil küme (kırmızı renkle gösterilen) “machine learning”, daha sonra daha az popüler olan küme (sarı renkle gösterilen) “artificial intelligence” ve sonra da üçüncü küme (yeşil renkte gösterilen) “deep learning” anahtar kelimesinden oluşmaktadır. VoSviewer’da, bir anahtar kelimenin önemi ya görünme sayısı ya da toplam bağlantı gücü (TLS) temelinde belirlenir. TLS, belirli bir anahtar kelime ile diğer anahtar kelimeler arasındaki eşzamanlı görünme bağlantılarının kümülatif gücünü göstermektedir (Van Eck ve Waltman 2020).



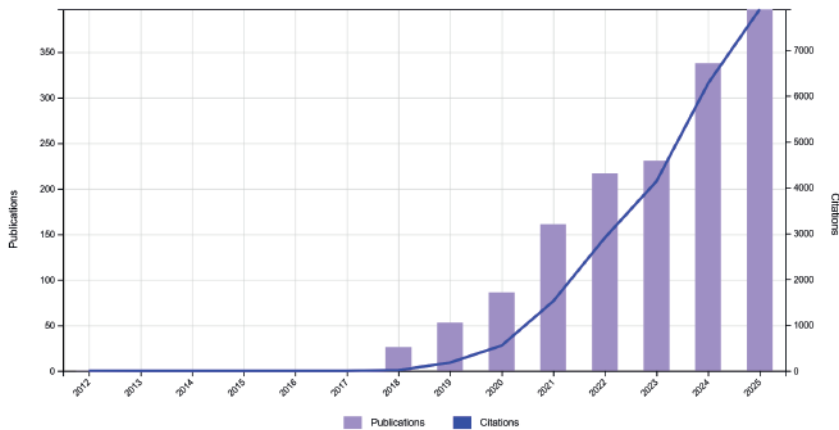
Şekil:5 Ortak Kelimeler

*Kaynak: Yazar tarafından WoS veri tabanından elde edilen veriler kullanılarak VoSviewer programı ile oluşturulmuştur.*

## 10. Atıf Analizi

### 10.1 Yıllara Göre Atıf Sayısı

Bu analiz araştırma alanının entelektüel yapısını ortaya çıkarmak için yapılmıştır. Bu analiz ile alandaki atıf ağlarına ulaşılır. Çalışmamızda 2018 yılından bu yana yani Covid-19 öncesinde bu yana havacılık yönetimi alanında yapay zekâ ile ilgili yayınlanmış makaleler yer almaktadır.



Şekil:6 Dergilerim Yıllara Göre Atıf Sayısı

Şekil 6'da görüleceği üzere 2018 yıllarında 17 adetle başlayan yayın sayısı 2019'da 182, 2020'de 553, 2021 yılında 1521, 2022 yılında 2904, 2023 yılında 4140, 2024 yılında 6287 ve günümüzde bu sayı 7972 adete ulaşmıştır. Bu trendin benzer şekilde devam etmesi halinde havacılık yönetiminde yapay zekâ uygulamalarına yönelik çok daha fazla sayıda artacağını söyleyebiliriz.

## 10.2 Yazar Atıf Analizi (Citation of Authors)

Bibliyometrik çalışmalarda ilgili yazarın ve yaptığı araştırmaların en çok atıf aldığı değerli bir metrik olarak yer almaktadır. Genel olarak atıflar alıntı yapılan belgenin bir kısmı veya tamamı arasındaki ilişkiyi ifade eder (Smith, 1981). Bu nedenle makaleleri yayınlayan iki yazarın veya iki yazar topluluğunun araştırmaları arasında kayda değer bir bağlantı olduğu prensibine temel teşkil eder. (Garfield, 1991). Çalışmada her bir dokümanda yer alan azami yazar sayısı 15 olarak belirlendiğinde, bir yazarın asgari sayıda yer alan doküman sayısı 3 olarak belirlendiğinde bir yazarın asgari atıf sayısını da 2 olarak kabul edersek 5169 yazar içerisinde bu kriteri karşılayan 132 birim yer almakta olup sonuçları Tablo xx de görülmektedir.

*Tablo 3. Yazar Atıfları*

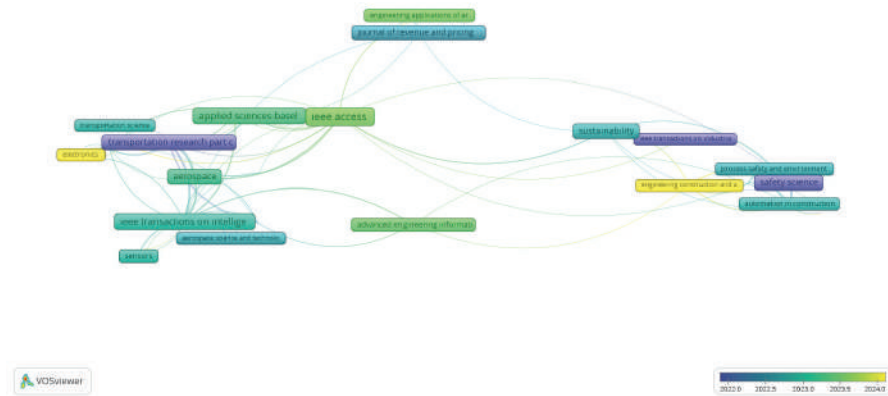
| Yazar               | Belge Sayısı | Atıf Sayıları | Toplam Bağlantı Gücü |
|---------------------|--------------|---------------|----------------------|
| abdel-aty, mohamed  | 14           | 506           | 17                   |
| wang, fei-yue       | 3            | 463           | 0                    |
| aggarwal, vaneet    | 4            | 445           | 2                    |
| niyato, dusit       | 5            | 340           | 4                    |
| yuan, jinghui       | 3            | 322           | 6                    |
| liu, yongming       | 10           | 243           | 27                   |
| paltrinieri, nicola | 4            | 204           | 6                    |
| goh, yang miang     | 3            | 201           | 25                   |
| quddus, mohammed    | 3            | 199           | 0                    |
| ekmekcioglu, omer   | 5            | 193           | 31                   |
| gurgun, asli pelin  | 5            | 193           | 31                   |
| koc, kerim          | 5            | 193           | 31                   |
| pang, yutian        | 7            | 182           | 11                   |
| yang, yang          | 6            | 178           | 0                    |
| li, ye              | 5            | 173           | 0                    |
| yuan, chen          | 3            | 168           | 0                    |

|                           |    |     |    |
|---------------------------|----|-----|----|
| lin, yi                   | 5  | 162 | 3  |
| murca, mayara conde rocha | 5  | 151 | 4  |
| gui, guan                 | 3  | 141 | 16 |
| sun, jinlong              | 3  | 141 | 16 |
| boukerche, azzedine       | 3  | 139 | 0  |
| albert, alex              | 3  | 138 | 0  |
| li, xin                   | 4  | 138 | 14 |
| alam, sameer              | 12 | 136 | 40 |
| tanwar, sudeep            | 3  | 133 | 0  |

*Bu sonuçlara göre en çok atıf alan ilk üç yazar abdel-aty, mohamed (506), wang, fei-yue (463) ve aggarwal, vaneet (445) olarak yer aldığı görülmektedir.*

#### 10.4 Atıf Kaynağı Analizi (Citation of Source)

Bir kaynağın yayınladığı asgari belgesi sayısı 5 ve bir kaynağın içerdiği asgari alıntı sayısı 3 belirlendiğinde, 500 kaynağın 55 tanesinin bu kriteri sağladığı görülmüştür. Ancak bu 55 birim birbiriyle tamamen bir ağla bağlı değildir. Bu kaynaklar genel yapı itibariyle 11 kümeye ayrılmış olup en geniş bağlantı kümesi 7 birimi içermekte olup Şekil 7’de gösterilmektedir.



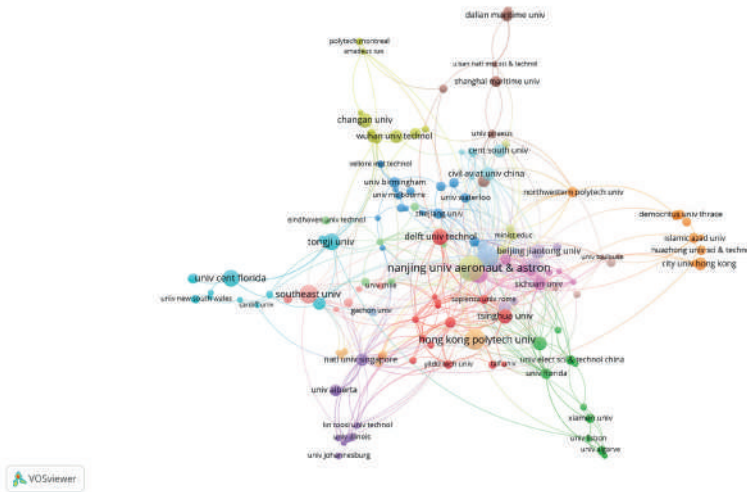
*Şekil 7: Atıf Kaynağı Analizi*

*Kaynak: Yazar tarafından WoS veri tabanından elde edilen veriler kullanılarak VoSviewer programı ile oluşturulmuştur.*

Atıf kaynağına yönelik 11 küme olsa da bu kümeler arasındaki bağlar çok sıkı görülmemektedir. Bu atıf kaynaklarının büyüklük sıralaması yaparsak; 20202 atıf, 48 belge, 37 toplam bağlantı gücü ile “ice transaction on intelligent transportation system” ilk başta yer almakta ardından 42 belge, 1077 atıf, 40 toplam bağlantı gücü ile “transportation research part emerging technologies”, daha sonra da 35 belge, 965 atıf, 23 toplam bağlantı gücü ile “safety science” dergisi yer almaktadır.

### 10.5 Kurumlar Bazında Atıf Analizi (Citation of Organization)

Her bir belgede yer alacak kurum sayısı 15 iken her bir kurumun asgari doküman sayısını üç ve her bir kurumun asgari atıf sayısını 2 olarak belirlendiğinde 1884 kurum içerisinde 2452'sinin bu kriteri karşıladığı ortaya çıkmış olup kurumların ilişki ağı Şekil 8'de yer almaktadır.



*Şekil 8: Kurumların Atıfları*

*Kaynak: Yazar tarafından WoS veri tabanından elde edilen veriler kullanılarak VoSviewer programı ile oluşturulmuştur.*

Bakıldığında kurumlar azami 5 küme içinde toplandığı görülmekte olup birinci küme 63 kurum, ikinci küme 33 kurum, üçüncü küme 29 kurum, dördüncü küme 28 kurum ve beşinci küme 24 kurumdan oluşmaktadır.





### 11.1 Metinlerin Bibliyometrik Eşleşme Analizi (Bibliometric Coupling of Documents)

Bir doküman içindeki asgari alıntılarının sayısı en az 3 olacak şekilde belirlediğimizde, 1509 belge içinde 968 tanesinin bu kriteri karşıladığı görülmüştür. Bu 968 belgenin her biri için , diğer dökümanlarla bibliyometrik eşleşme gücü hesaplanmaktadır. Buna göre en fazla toplam bağlantı gücü olan seçilecektir. Bu 968 dökümanda en geniş bağlantı seti 941 birimi içermekte olup ilgili genel yoğunlu haritası aşağıda Şekil 10'da yer almaktadır.



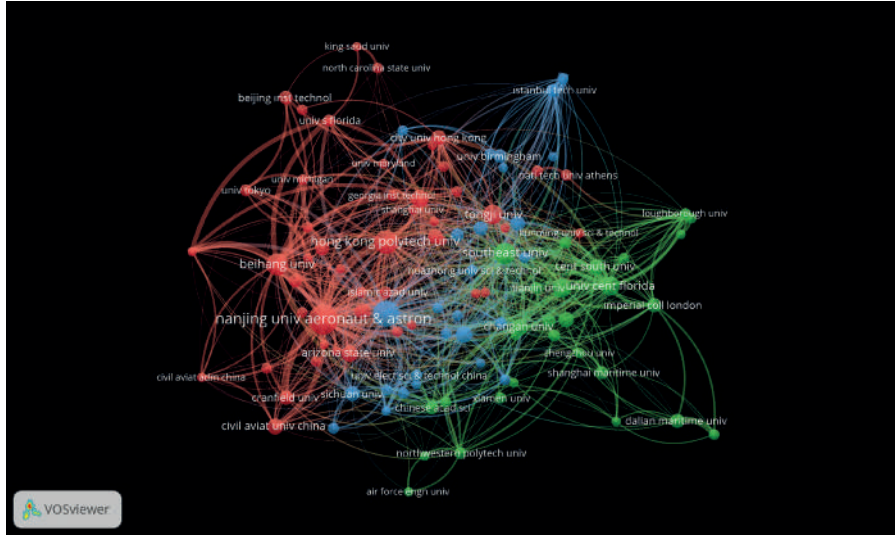
Şekil 10: Belgelerin Kaynakça Eşleşmesi

*Kaynak: Yazar tarafından WoS veri tabanından elde edilen veriler kullanılarak VoSviewer programı ile oluşturulmuştur.*

Buna göre en çok ortak makale eşleşmesi olan ilk beş yazarlar 715 atıf, Zhu (2019), 465 Wang (2022c), 452 atıf Martinez (2018), 409 atıf Parker (2022) ve 348 atıf Bertsimas (2020) olarak yer almaktadır.

### 11.2 Kurumların Bibliyometrik Eşleşme Analizi (Bibliometric Coupling of Organizations)

Her bir belgede yer alacak kurum sayısı 25 olarak belirlendiğinde, her bir kurumun asgari belge sayısı 5 olduğunda her bir kurumun asgari atıf sayısını 3 alırsak 1889 kurumun içerisinde 103 tanesinin bu eşiği sağladığı ortaya çıkmış olup Şekil 11' de yer almaktadır.



**Şekil 11: Kurumların Kaynakça Eşleşmesi**

**Kaynak:** Yazar tarafından WoS veri tabanından elde edilen veriler kullanılarak VoSviewer programı ile oluşturulmuştur.

Şekil 11’de görüldüğü üzere kaynakça eşleşmesi yapan kurumlar 3 kümede toplanmışlardır (kırmızı, mavi ve yeşil). Makale sayısı, atıf sayısı ve bağlantı gücü dikkate alındığında en çok kaynak eşleşmesi yapan ilk on beş kurum sırasıyla aşağıdaki Tablo 4’ de yer almaktadır.

**Tablo 4. Kurumlara Göre Kaynakça Eşleşmesi**

| Kurum                             | Makale Sayısı | Atıf Sayısı | Toplam Bağlantı Gücü |
|-----------------------------------|---------------|-------------|----------------------|
| zhengzhou univ                    | 6             | 97          | 442                  |
| nanjing univ aeronaut & astronaut | 48            | 1103        | 7857                 |
| beijing jiaotong univ             | 17            | 1016        | 2878                 |
| nanyang technol univ              | 36            | 933         | 6175                 |
| mit                               | 12            | 869         | 1064                 |
| hong kong polytech univ           | 31            | 840         | 4496                 |
| curtin univ                       | 9             | 667         | 1025                 |
| univ cent florida                 | 20            | 661         | 3890                 |
| chinese acad sci                  | 9             | 564         | 1379                 |
| cranfield univ                    | 11            | 558         | 1738                 |
| univ illinois                     | 6             | 506         | 1007                 |
| univ maryland                     | 5             | 495         | 300                  |
| delft univ technol                | 19            | 482         | 1916                 |
| singapore univ technol & design   | 5             | 445         | 1152                 |
| beihang univ                      | 26            | 387         | 5064                 |

## 12. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada havacılık yönetiminde yapay zekâ uygulamalarına yönelik bibliyometrik analiz bir çalışma yapılarak son sekiz yıllık dönem içinde için yapılan çalışmalara yönelik bir kesit sunulmuştur. Çalışma yapay zekâ uygulamalarının havacılık yönetimi alanındaki entelektüel yapıyı, alanın kavramsal yapısının, sosyal yapısını ortaya konulmasını, en son dönemlerdeki tarihsel gelişimini (kavram, yazar, atıf ve/veya bunların birbirleriyle ilişkisi açısından) ortaya koymak ve alandaki üretkenliğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın daha önceki çalışmalardan temel farkı diğer çalışmaların “emniyet” gibi dar bir kesiti ele alması veya çok geniş bir kesiti örneğin; “sivil havacılık” biçiminde ele alınarak yapılmışken, mevcut çalışma konunun havacılık yönetimi olarak öncelikli olarak belirlenmiştir. Diğer bir farklılık ise havacılık yönetiminin alt bileşenlerine dair veri tabanı filtrelenirken otuz adet anahtar kelime konu başlıklarında kullanılmış daha sonar elde edilen sonuçlar arındırılarak sadece havacılık yönetimindeki araştırma alanları ve havacılık yönetimine ait konu başlıkları seçilmiştir. Bu şekilde, ilk etapta yaklaşık on bir bin adet olarak görülen makale sayısı, gerçekte yaklaşık bin beş yüz adete kadar düşmüştür. Böylelikle diğer çalışmalara göre çalışma ölçeği sadece havacılık yönetimi alanını kapsayacak şekilde oluşturularak havacılık yönetimine ait makaleler ele alınmıştır.

Yapılan çalışmada 2018 yılında havacılık yönetimi alanında yayınlanmış makale sayısı çok az iken (onlu rakamlar) bugün geline noktada yüzlerce ifade edildiğini söylenebilir. Benzer durum yayınlara yapılan atıf sayılarında görülmekte olup yine yukarda belirtilen tarih itibariyle atıf sayıları çok yetersiz iken (onlu sayılar) bu yıl sonu itibariyle bu rakamlar yüz misli artmış (on binli rakamlar) görünümündedir. Havacılık Yönetimi alanında da en çok üretken ülkelerde Çin birinciliğini korumakta olup ardından Amerika, İngiltere ve Kanada gelmekte olup Türkiye yirminci sırada yer almaktadır. Havacılık Yönetiminde yer alan bölümler içinde en çok kullanılan ortak kelimelerin sırasıyla “artificial intelligence”, “deep learning” ve “machine learning” olduğu belirlenmiş olup bu manada bu üç anahtar kelimenin havacılık yönetiminde yapay zekâ makaleleriyle iç içe olduğu düşünülmektedir. Ancak havacılık yönetimin alt bileşenleri olan, bakım yönetimi, uçuşa elverişlilik yönetimi, yer işletme yönetimi, ekip planlama yönetimi, acil durum yönetimi, gelir yönetimi, maliyet yönetimi, havacılık pazarlama yönetimi, filo yönetimi gibi birçok alt başlıkta yeterli çalışmanın olmadığı görülmektedir. Yapılan çalışmada en çok atıf alan ilk üç kurumun; zhengzhou üniversitesi, nanjing üniversitesi- aeronaut & astronaut ve beijing jiaotong üniversitesi olduğu görülmekte olup bu anlamda Çinli üniversitelerin başı çektiği ifade edilebilir. Bu alanda ortaya çıkan üç grup arasında sıkı bir iş birliği olduğunu da ağ

haritasından görmektedir. En çok atıf alan başlıca yazarların; Abdel-Aty, Mohamed, Wang, Fei-Yue ve Aggarwal, Vaneet olduğu tespit edilmiştir. Aynı makaleye yapılmış atıflar kapsamında en fazla Zhu (2019), Wang (2022c) ve Mrtinez (2018) eserleri olduğu anlaşılmıştır. Atıf kaynağına yönelik en çok “ice transaction on intelligent transportation system” daha sonra “transportation research part emerging technologies” ve üçüncü olarak “safety science” dergisi yer almaktadır.

Literatüre baktığımızda daha önceden Havacılık Emniyetinde bibliyometrik analiz ve sistematik gözden geçirme çalışması yapıldığı görülmüş olup (Demir vd.,2024) bu çalışmada havacılık emniyeti araştırmacılarına, uygulayıcılarına ve karar vericilerine, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi ileri teknolojilerin entegrasyonunu kapsamlı bir şekilde incelemek ve gelecekteki güvenlik stratejilerini bilgilendirmek ve güçlendirilmesi ön plana çıkmıştır. Benzer şekilde, Sadou ve Njoya (2023). Hava Ulaştırma Sektöründe yapay zekâ uygulamaları ve literatür analizi çalışmasında hava taşımacılığında yapay zekâ uygulamaları hakkında bilgi üretmeye katkıda bulunan en üretken kurum ve yazarları ortaya koymakta ve genel araştırma yönünü belirlemiştir. Lopes ve arkadaşları havacılıkta yapay zekâ zorlukları ve kazançları kapsamında yayınladığı makalede yapay zekanın kritik önemi yaygın olarak kabul edilmesine rağmen, mevcut akademik tartışmalarda, özellikle havacılık endüstrisinde yapay zekâ ile ilgili kapsamlı sistematik incelemeler konusunda bilimsel boşluğun olduğunu söylemişlerdir (Lopes vd., 2025). Sonuçlar, araştırmanın mevcut durumunu aydınlatarak bu kritik alandaki gelişmelerin akademik olarak daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Buna ilave olarak (2024). Şahin “Havacılık ve Yapay Zekâ Alanındaki Çalışmaların Bibliyometrik Analizi” çalışmasında yapay zeka ve havacılık terimlerinin birlikte kullanıldığını belirlemiş, yapay zeka teriminin analizlerde önemli bir belirleyiciliği olduğu tespit edilmiştir “Yapay zekâ tarafından dönüştürülen havacılık: Sektörü: Bibliyometrik Araştırma” çalışmasında Yıldız (2025), “Yapay Zeka”, “Sivil Havacılık” ve “Makine Öğrenimi” anahtar kelimler kapsamında sosyal yapı, kavramsal yapı ve entelektüel etkileşimi belirlemeye çalışmıştır.

Genel değerlendirme yapıldığında önümüzdeki altı ay da beş sene sonra aynı konuda yapılacak bir çalışmada çok farklı sonuçları göstermesi beklenmektedir. Zira yapay zekâ henüz yeni yeni gelişmektedir. Bununla birlikte havacılık yönetimin alanında yapay zekâ uygulamaları git gide artmaktadır. Gün geçtikçe bu uygulamaların yayılması havacılık sektöründe çok daha sıkça görülecektir. Buna paralel şekilde bu konu da alan yazında yayınlanan makaleler, kitap bölümleri, kitaplar ve benzeri yayınların da daha çok artması beklenmektedir. Ülkemizde de gerek havacılık sektöründe gerekse akademik

alandan henüz yapay zekâ tam olarak öğrenilebilmiş ve anlaşılabilmiş durumda değildir. Yapay zekâ kullanımında kurumsal ilkeler, standartlar, protokoller netleşmiş durumda değildir tam manasında. Havacılıktaki uygulamalar daha ziyade uluslararası yaygın ve kabul görmüş ürün ve hizmetlerin hayata geçirilmesiyle yaygınlaşmaktadır. Bu manada uygulamalar bir nevi lider firmaların uygulamaları taklit ederek devam etmektedir. Bugün yapay zekâ kapsamında hava trafik yönetim sistemlerinde, uçak navigasyon ve kokpit yönetim sistemlerinde, yer kontrol sistemlerinde, gelir yönetimi yaklaşımlarında, havayolu pazarlama uygulamalarında, uçuş harekât ve bakım yönetimi gibi küresel bir markamızın birçok süreçte kullanıma geçilmiştir. Havacılığın uluslararası bir iş biçimi olması, Türk Hava Yolları'nın küresel bir marka olması Pegasus Hava Yollarının da uluslararası düşük maliyetli taşımacılar arasında bir marka kuruluş olması ve havayolu pazarında rekabetin devam ettiği gerçeğine bağlı olarak Dünya'da bu alanda da yapılan uygulamaların ülkemiz havacılık işletmelerince belli ölçüde uygulamasına geçildiği ve diğer uygulamalarında çok beklemeden Türkiye'de yer alacağı öngörülmektedir. Özellikle, emniyet ve güvenlik yönetimine ait uygulamalar çoğu kez uluslararası havacılık otoriteleri tarafından bir süre sonra tüm üye ülkelerce yerine getirilmesi talep edildiği için bu alanlarda daha hızlı ilerlemeler yaşanacağı ifade edilebilir. Bunun haricinde kalan zorunlu olmayan uygulamalar ise, pazarda rekabet edebilmek, rakiplere cevap verebilmek ya da rekabet üstünlüğü sağlamak, performans ve verimliliği artırmak, insan faktörü unsurunu olabildiğince azaltarak hataları azaltma, maliyetleri düşürmek gibi pek çok nedenden dolayı havacılık yönetiminde yapay zekâ uygulamalarını takip edecekleri ve işletme süreçlerine uygulanacakları beklenmektedir. Aksi durumda, işletmelerin zaman içerisinde rekabet gücü zayıflayacağından dolayı geri planda kalacağı, el değiştirebileceği ya da bir süre sonra ticari hayattan çekilmesi söz konusu olacaktır.

Mevcut çalışma Scopus, Google-Scholar, Pubmed, Tr-Dizinli Ulakbilim Dergiler ve Yöksis'te indekslenen dergileri içermemekte olup burada yer alan verileri kapsamamakta olup araştırmancının bu yönde bir kısıtını oluşturmaktadır. İleriki çalışmalarda diğer veri tabanlarında da araştırmalar yapılarak sonuçlarının karşılaştırılması tavsiye edilmektedir. İçerik olarak makalelerin konu başlıkları, türleri, havayolu yönetiminin alt başlıklarını içerecek şekilde; hava ulaştırma yönetimi, hava trafik yönetimi, havalimanı yönetimi, emniyet yönetimi, gelir yönetimi, uçuşa elverişlilik yönetimi, hava aracı bakım yönetimi, filo planlama, yer operasyonları yönetimi gibi alanlara göre kodlanıp ayrıştırılması önerilir. Buna ilaveten; özellikle son on yılda yapılan çalışmaların literatür incelemesi yapılarak, kim hangi çalışmayı yapmış, hangi yöntemle yapmış ve sonuçta ne tespit edilmiş biçiminde bir

özet tablonun hazırlanmasının faydası olacaktır. Çalışma sadece Web of Science'da yayınlanmış makale belgelerini incelemiştir. Bu manada, bildiriler, kitap bölümleri, kitaplar, deneme yazıları gibi diğer türden yayınları da içerecek şekilde kapsamı genişletilebilir.

Yapılan çalışmada havacılık yönetimi alanının altında yer alan pek çok alanda yapay zekâ uygulamalarına yönelik yapılan araştırma sayısını çok az ve yetersiz olduğunu belirtmektedir. Bu alt alanlara yönelik araştırma boşluğuna yönelik çalışmalar planlamalı ve bu başlıklardaki uygulama örnekleri aktarılmalıdır. Tüm bunların neticesinde sonuç olarak; yapılan çalışmanın, literatür analiziyle desteklenerek, alanın sosyal yapısını, kavramsal yapısını, entelektüel yapısını ortaya koyma açısından gelecekteki çalışmalara ışık tutabileceği, havacılık yönetiminde yapay zekâ uygulamalarına yönelik yapılacak araştırmaları geliştirebileceği söylenebilir.



## Kaynaklar

- AI, T. (n.d). *How Artificial Intelligence Is Used In Air Traffic Control (ATC) – Towards AI*,  
<https://www.Towardsai.net/p/l/how-artificial-intelligence-in-used-in-air-traffic-control-atc>,  
 Erişim Tarihi: 10.12.2025
- Alreshidi, I., Moulitsas, I., & Jenkins, K. W. (2024). Advancing aviation safety through machine learning and psychophysiological data: a systematic review. *IEEE Access*, 12, 5132-5150.
- Arrigoni, V. ve Cavignetto, N. (2023). The Human Role in Future Aviation.
- Arslan, E. (2022). Sosyal Bilim Araştırmalarında VOSviewer İle Bibliyometrik Haritalama Ve Örnek Bir Uygulama. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22 (Özel Sayı 2), 33-56. <https://doi.org/10.18037/ausbd.1227291>.
- Block, J. Ve Fisch, C. (2020). Eight tips and questions for your bibliographic study in bussiness and management resaerch. *Management revoew Quarterly*, 70(3), 307-312.
- Capital (2025). <https://www.capital.com.tr/haberler/tum-haberler/thyde-yapay-zeka-destekli-inovasyon>, Erişim Tarihi:18.12.2025.
- Cobo, M. J., Lopez-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis and comparative study among tools. *Journal of the American Society for information, Science and Technology*, 62(7), 1382-1402.
- Cosgrove, J. & Cachia, R. (2025). Europeem Digital Competency Framework. Dig. 3.0, Fift Edition,
- Dereeli, A. B. (2024). Vosviewer Ile bibliyometrik analiz. *Communicata*, (28), 1-7.
- Demir, G., Moslem, S., & Duleba, S. (2024). Artificial intelligence in aviation safety: systematic review and biometric analysis. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17(1), 279.
- Dimitrios, Z., Lea-Sophie, V., ve Abber, D. F. (2025). Havacılıkta Yapay Zeka Uygulama Rehberi, Akademik Nobel, İstanbul.
- Ergun, O. (2025). 7. Havacılık ve Uzay Bilimleri Kongresi, Havacılıkta İnsan Faktörleri Yapay Zekâ Etkileşimi Sunumu, İstanbul.
- Eurocontrol (2022). Havacılığın Genel Görünümü 2050, [www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-04/eurocontrol-aviation-outlook-2050-report.pdf](http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-04/eurocontrol-aviation-outlook-2050-report.pdf),  
 Erişim Tarihi: 12.12.2025.
- FTA (2016). “Future Travel Experience,  
<https://www.futuretravelexperience.com/2016/04/socially-aware-spencer-robot-guides-passengers-at-schiphol/>, Erişim Tarihi: 09.12.2025



- Guitierrez-Salcedo, M., Martinez, M., Moral-Munoz, J., Herrera-Viedma, E., ve Cobo, M.J. (2018a). Some bibliometric procedures for analyzing and evaluating research fields. *Applied Intelligence*, 48(5), 1276. <https://doi.org/10.1007/s10489-017-1105-y>.
- Guitierrez-Salcedo, M., Martinez, M., Moral-Munoz, J., Herrera-Viedma, E., ve Cobo, M.J. (2018b). Some bibliometric procedures for analyzing and evaluating research fields. *Applied Intelligence*, 48(5), 1285-1287. <https://doi.org/10.1007/s10489-017-1105-y>.
- Herkesicinhavacilik (2024). <https://www.ibm.com/tr-tr/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>, ErişimTarihi: 15.12.2025.
- İlge (2024). <https://ilge.com.tr/havacilik>, erişim Tarihi 19.12.2025.
- Innova (2023). <https://www.innova.com.tr/blog/Yapay-zeka-havaciligin-gelecegi-ni-nasil-degistirecek>, Erişim tarihi: 15.12.2025
- Kaya Ö. (2025a). “*Havacılığın Yeni Dönemi- Digital Flight*”, İstanbul Topkapı Üniversitesi, Sunum Notları Slayt 5, 17 Aralık.
- Kaya Ö. (2025b). “*Havacılığın Yeni Dönemi- Digital Flight*”, İstanbul Topkapı Üniversitesi, Sunum Notları Slayt 7-9, 17 Aralık.
- Kim, D., ve Marciniak, M. (2001). *A methodology to predict the empennage in-flight loads of a general aviation aircraft using backpropagation neural networks* (No. DOT/FAA/AR- 00/50). Embry-Riddle Aeronautical Univ Daytona Beach Fl.
- Kopilot (2025). <https://kopilotrehberlik.com/blog/havacilik-yonetimi-nedir-ne-is-yapar-maaslari>, Erişim tarihi: 07.12.2025.
- Kurutkan, M.N., ve Orahan, F. (2018). Bilim Haritalama, Bibliyometrik Analiz ve Kitap ile ilgili Genel Hususlar. In M. N. Kurutkan ve F. Orhan (Eds), Sağlık Politikası Konusunun Bölüm Haritalama Teknikleri ile Analizi, (pp-1-112).
- Lebedev, V. G., ve Kulida, E. L. (2021). Advanced Technologies for Supporting Operational Decision- Making in Civil Aviation. *Advances in Systems Science and Applications*, 21(3), 12-21.
- Lopes, N. M., Aparicio, M., & Neves, F. T. (2025). Challenges and prospects of artificial intelligence in aviation: a bibliometric study. *Data Science and Management*, 8(2), 207-223.
- L. K. (2018). L. K, “The Korea Bizwire,” <http://koreabizwire.com/incheon-airport-introduces-airstar-passenger-aiding-robot/121298>, Erişim Tarihi: 9.12.2025.
- Mickinsey (2023a). *AI customer service for higher customer engagement*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-next-frontier-of-customer-engagement-ai-enabled-customer-service>, Erişim Tarihi: 10.12.2025.

- Mickinsey (2023a). *AI customer service for higher customer engagement*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-next-frontier-of-customer-engagement-ai-enabled-customer-service>, Erişim Tarihi: 10.12.2025.
- Muthukkumarasamy, V., Blumenstein, M., Jo, J., ve Green, S. (2004). Intelligent illicit object detection system for enhanced aviation security. In *International Conference on Simulated Evolution and Learning*.
- Ni, X., Wang, H., Che, C., Hong, J., ve Sun, Z. (2019). Civil aviation safety evaluation based on deep belief network and principal component analysis. *Safety Science*, 112, 90-95.
- Öztürk, O., ve Gürlü, G. (2021a). Bir Literatür İncelemesi Aracı Olarak Bibliyometrik Analiz, Nobel Akademi, 2. Basım.
- Öztürk, O., ve Gürlü, G. (2021b). Bir Literatür İncelemesi Aracı Olarak Bibliyometrik Analiz, Nobel Akademi, 2. Basım.
- Pegasus (2025). <https://www.flypgs.com/akilli-asistanimiz-flybot-chatgpt-ile-seyahatini-planlamana-yardim-ediyor?>, Erişim Tarihi: 14.12.2025.
- Rajagopal V, Venkatesan SP, Goh M (2017). Decision-making models for supply chain risk mitigation: A review. *Comput Ind Eng* 113:646-682. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.043>.
- Research (n.d). *Aerospace Artificial Intelligence Market Outlook, Grow Repopr to 2030*. *Straitsresearch.com*. <https://straitsresearch.com/report/aerospace-artificial-intelligence-market>. Erişim Tarihi: 09.12.2025.
- Rhen, R., ve Koruman, U. (2006). Bibliometric handbook for Karolinska Institutet, Stockholm: Karolinska Institutet: University Library Publication.
- Sadou, A. M., & Njoya, E. T. (2023). Applications of artificial intelligence in the air transport industry: a bibliometric and systematic literature review. *J Aerosp Technol Manag* 15: e2223.
- Sahin, M., Kizilaslan, R., & Demirel, Ö. F. (2013). Forecasting aviation spare parts demand using croston based methods and artificial neural networks. *Journal of Economic and Social Research*, 15(2), 1.
- Şahin, Y. (2024). Havacılık ve Yapay Zeka Alanındaki Çalışmaların Bibliyometrik Analizi. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 11(110), 1637-1648.
- SHGM (2024a). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu 2024, <https://www.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/SHGM20.06.2025.pdf>, Erişim Tarihi: 08.12.2025.
- SHGM (2024b). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu 2024, <https://www.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/SHGM20.06.2025.pdf>, Erişim Tarihi: 08.12.2025.

- Stegmann J, Grohmann G (2003) Hypothesis generation guided by co-word clustering. *Scientometrics* 56(1):111-135. <https://doi.org/10.1023/A:1021954808804>.
- Techcareer (2025). <https://www.techcareer.net/blog/havacilik-yonetimi-bolumu-nedir-mezunu-ne-is-yapar>, Erişim Tarihi: 11.11.2025.
- Terminal (2024). <https://terminal.turkishairlines.com/tag/yapay-zeka/>, Erişim Tarihi: 16.12.2025.
- Turkishtechnology (2024). <https://turkishtechnology.com/tr/blog/revolutionizing-travel-ai-how-we-built-turkish-airlines>, Erişim Tarihi: 16.12.2025.
- Ultralytics (2024a). <https://www.ultralytics.com/tr/blog/ai-in-aviation-a-runway-to-smarter-airports>, Erişim Tarihi: 17.10.2025.
- Ultralytics (2024b). <https://www.ultralytics.com/tr/blog/ai-in-aviation-a-runway-to-smarter-airports>, Erişim Tarihi: 17.10.2025.
- Web of Science Veri Tabanı (2025). [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com), Erişim Tarihi: 12.10.2025
- Waltman L, Van Eck NJ (2013) A smart local moving algorithm for large-scale modularity-based community detection. *Eur Phys J B* 86(11):471. <https://doi.org/10.1140/epjb/e2013-40829-0>.
- Yıldız, B. (2025). The Civil Aviation Sector Transformed By Artificial Intelligence: A Bibliometric Study. *NEW APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF ORGANIZATIONS*, 210.
- Zupic, I. Cater, T. (2015). Bibliometric Methods In Management and Organizations. *Organizational Reseach Methods*, 18(3), 429-472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>.

## Yapay Zekâ ile Havalimanlarının Dönüşümü: Singapur Changi Havalimanı

Ayşe Küçük Yılmaz<sup>1</sup>

Büşra Karakuş<sup>2</sup>

### Özet

Havacılık sektörü, güvenlik, hız ve erişilebilirlik taleplerinin yanı sıra dijital dönüşümün desteğiyle gelişmektedir. Artan yolcu/kargo trafiği, operasyonel karmaşıklık ve maliyetler havacılık sektöründe yenilik ihtiyacını doğurmaktadır. Bu bağlamda, yapay zekâ operasyonel maliyetleri azaltma ve yolcu deneyimini iyileştirme amaçlarının yanı sıra, rekabet avantajı sağlayarak sektörde kalıcı olmak için zorunlu bir unsur haline gelmiştir. Havalimanları da bu teknolojik gelişmelerin etkisiyle beraber “Akıllı Havalimanı” konseptine yönelmişlerdir. Akıllı havalimanları, Nesnelerin İnterneti (IoT), Büyük Veri, Biyometrik Teknolojiler ve Yapay Zekâ gibi Endüstri 4.0 teknolojilerinden yararlanarak müşteri deneyimini iyileştirmekte ve kapasite kullanımını artırmaktadır. Bu sistemlerin, dünyada en çok ziyaretçi ağırlayan havalimanlarından biri olan Singapur Changi Havalimanı’nda kullanıldığı görülmektedir.

Sunduğu hizmetlerin emniyetli, kesintisiz ve verimli olmasıyla tanınan Singapur Changi Havalimanı (SIN), bu başarısını müşteri odaklı mükemmel hizmet anlayışının yanı sıra gelişmiş teknolojileri sorunsuz biçimde uygulamasına borçludur. Bu teknoloji etkinleştirme çerçevesi, Singapur Changi Havalimanı’nın “Akıllı Havalimanı” vizyonunu oluşturmaktadır. Singapur Changi Havalimanı, Akıllı Havalimanı vizyonu çerçevesinde sensörlerden, veri analizinden ve yapay zekâdan faydalanarak operasyonel verimliliği artırmayı ve kullanıcı odaklı tasarımlarla müşteri deneyimlerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Singapur Changi örneği, gelişmekte olan havalimanlarına stratejik kararlarda veri odaklı sistemlerin kurulması, operasyonel süreçlerde tahmine dayalı analitik sistemlere odaklanması, Yapay Zekâ uzmanları istihdam edilmesi ve çalışanların dijital okuryazarlık eğitiminin teşvik edilmesinin gerekli olduğuna yönelik dersler sunmaktadır.

- 1 Prof. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık Yönetimi Bölümü, akucukyilmaz@eskisehir.edu.tr, ORCID:0000-0001-5240-1023
- 2 Araş. Gör., İstanbul Topkapı Üniversitesi, Havacılık Yönetimi Bölümü, busarakakus@topkapı.edu.tr, ORCID:0009-0006-9713-3804

## Giriş

Endüstriler ekonomileri şekillendiren belirleyicilerdir. Bunlardan biri olan havacılık endüstrisi dijital dönüşümün verdiği ivme yanında ihtiyaç duyulan güvenlik, hız ve erişilebilirlik konularındaki artan çabalar nedeniyle büyük gelişmeler yaşamıştır. Fakat yolcu ve kargo trafiğinin artması, operasyonel karmaşıklığın çoğalması ve maliyetin yükselmesi, havacılık sektöründe geleneksel yöntemleri aşma ihtiyacına doğurmuştur. Havacılık sektörünü titizlikle takip eden ülkeler, faaliyette bulundukları havacılık endüstrilerini geliştirebilmek amacıyla yatırım yapmaya özen göstermişlerdir. Havayolu işletmeleri hem temel fonksiyonlarını yerine getirmek hem de tedarikçini, bakımını, operasyonlarını ve müşteri ilişkilerini gerçekleştirmek amacıyla teknolojiye dayanmaya başlamışlardır. Bu bağlamda havacılık sektörü, yaşanan teknolojik gelişmelerle devamlı ilerleme gösterip yenilikçi çözümler yaratarak uçuşların daha emniyetli, verimli ve erişilebilir olması için birçok teknolojik değişim geçirmiştir (Jiang, Tran, & Williams, 2023).

Gelişen dinamikler ve beklentiler ile havacılık sektörü de operasyonel faaliyetlerini ve süreçlerini iyileştirme ve hatta bazılarını kökten değiştirme potansiyeline sahip bir teknoloji olan yapay zekâyı hem üretim hem hizmet tüm operasyonel süreçlere ve yönetsel fonksiyonlara dahil etmeye ve yapay zekadan yararlanmaya başlamıştır. Rekabetin yüksek ve kârlılığın düşük seviyede olduğu bir yapıya sahip olan havacılık sektöründe, yapay zekâ kullanımı verimlilik aracı olmasının yanı sıra sektörde kalıcı olmak için ihtiyaç duyulan bir unsur haline gelmiştir. Yapay zekâ aracılığıyla havayolu işletmeleri, operasyonel maliyetleri azaltmayı ve müşteri deneyimini geliştirerek satışları artırmayı amaçlayarak rekabette üstünlük sağlamaktadır.

Havalimanları, havacılık sektörünün dinamik yapısında kritik ve hassas bir yere sahiptir. Bir havalimanının verimliliği hava durumu, güvenlik protokolleri, insan akışı, ekipman durumu vs. gibi birçok faktörün etkin yönetimine bağlı olmaktadır. Havalimanlarında kullanılan yapay zekâ teknolojisi, seyahat endüstrisi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Kapasite yetersizliğini ve gecikmelerin sebep olduğu maliyetleri engellemek, yolcuların seyahat deneyimini daha kolay ve sorunsuz hale getirerek iyileştirmek, güvenlik ve emniyet süreçlerini etkin hale getirerek muhtemel tehditleri erkenden tespit etmek ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma potansiyeli sunmak üzere birçok konuda yapay zekâ teknolojisi uygulanmakta ve bu bağlamda havalimanları için büyük önem taşımaktadır.

Bu kapsamda, yapılan çalışmada yapay zekânın dönüştürücü gücünün havalimanları üzerindeki etkisi ele alınarak modern havalimanı yönetiminin

en başarılı örneklerinden biri olan Singapur Changi Havalimanı (SIN) vaka analizi üzerinden incelenmiştir.

## 1. Yapay Zekâ

Havacılık sektörü, rekabetin şiddetli ve maliyetlerin yüksek olduğu, katı çevresel kısıtlamalara ve karmaşık sistemlere sahip bir ortamda faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Veri güvenliği, rekabet artışı, büyüyen kargo ve yolcu hacmini yönetme gereksinimi, havayolları ve havalimanları için operasyonel verimliliği artırmak ve maliyetleri azaltmak, operasyonları iyileştirmek, desteklemek-optimum seviyeye getirmek-sürdürmek, yolcu deneyimini iyileştirmek gibi sorunlar yapay zekânın benimsenmesini zorunlu kılmaktadır (Kumar, 2022).

Modern havacılıkta güvenlik, kritik seviyede önemli bir konudur. Düzenleyici çerçevelerin katılığı ve gelişmiş teknolojik sistemler olmasına rağmen insanlardan kaynaklı hataların, yaşanan siber güvenlik tehditlerinin, meydana gelen mekanik arızaların ve karmaşıklığın gittikçe artması sektör için büyük riskler yaratmaktadır. Yaşlanan uçaklar, hava koşullarının kötüleşmesi, hava trafik hacimlerindeki tahminlerin zorlaşması ve siber saldırıya yönelik riskler havacılık sektörünün güvenliğini ve emniyetini tehdit etmekte; gittikçe azalmasına ortam hazırlamaktadır. Bu durum, geleneksel reaktif güvenlik önlemlerinden uzaklaşarak tahmine dayalı ve önleyici tedbirlerin alındığı bir güvenlik modeline yönelme ihtiyacını artırmaktadır (Ahmed, 2025).

Yapay zekâ, yalnızca verimliliği artırmak için değil işletmelerin sektörde varlığını sürdürebilmesinde bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Tasarım sürecinden operasyon sürecine kadar çözüm sunmaktadır. Makine Öğrenimi ile yakıt tüketiminin optimum seviyeye indirgenip çevresel etkisinin azaltılması, Görüntü İşleme ve Sensör Analizi ile hava trafik yöntemlerinin daha kolay hale getirilmesi ve olası güvenlik tehditlerinin erkenden tespit edilmesi, Yüz Tanıma ve Robotik Asistanlar ile check-in kuyruklarının kısaltılması ve sunulan kişiselleştirilmiş hizmet ile yolcu deneyiminin iyileştirilmesi yapay zekânın havacılık sektöründeki zorluklara getirdiği çözümlere örnek olarak verilmektedir. Örneklerden de anlaşılaacağı üzere yapay zekâ, havacılık sektörünün karmaşık, maliyet odaklı ve rekabet dolu ortamında tahmine dayalı kararlar alınmasına ortam hazırlamaktadır. Bu sayede sektörde operasyonel maliyetler azaltılmakta ve emniyet ile müşteri memnuniyeti seviyesi artırılmaktadır (Abubakar, EriOluwa, Teyei, & Al-Turjman, 2022).

### 1.1. Yapay Zekânın Tanımı, Kapsamı ve Stratejik Değeri

21. Yüzyılın başları itibariyle Yapay Zekâ (YZ) sistemleri, hayatın elzem unsurlarından biri haline gelmiştir. Buna örnek olarak iş hayatındaki bilgisayar tabanlı sistemlerden ev yaşamındaki süpürgelere, araçlarda kullanılan navigasyon sistemlerinden bankacılık sektöründeki işlemlere dek birçok noktada yapay zekânın kullanılması verilmektedir. Bu bağlamda, günümüzde varlığını sürdürmek ve rekabette avantaj elde ederek başarıya ulaşmak isteyen işletmelerin ve devletlerin yapay zekâ sistemlerini geliştirmesi ve kullanması zorunluluk halini almıştır. Yapay zekâ sistemleri, işletmelerin büyük veriyi işleyerek aldığı kararların daha etkin ve doğru olmasını sağlayan bilişsel düzenleyicilerdir. Devletlerin alacağı kalkınma kararlarında bilgiyi işleme, tasnif etme, denetleme, düzenleme süreçlerinde yapay zekâdan faydalanılması zorunlu olduğundan dolayı gelecekte hakimiyet kurmak isteyen devletlerin bu sistemleri kullanması gerekmektedir. Çin ve Amerika gibi gelişmiş ülkeler bu durumun bilincinde olduğu için yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması amacıyla eğitim sistemlerini, yapay zekâ sistemlerinin kullanılması ve geliştirilmesi bakımından revize etmişlerdir (Coşkun & Gülleroğlu, 2021).

İnsan yaşamına kolaylık sağlamada ve fayda yaratmada önemli bir etken olan yapay zekâ kavramına yönelik, disiplinler ve alanlar doğrultusunda birçok tanımlama yapılmıştır. Slage, yapay zekâ kavramının sezgisel programlamaya dayanan bir yaklaşım olarak ifade etmiştir (Nabiyev, 2012). Popov, insanların gerçekleştirdiklerini bilgisayarlara uygulatabilmesi olarak; Axe ise yapay zekânın komplike sorunları çözen, yalnızca var olan problemlerin çözümünde değil aynı zamanda oluşabilecek yeni durumlarda da etkili olabilen akıllı programlar olarak tanımlamıştır (Öztürk & Şahin, 2018). Genesereth ve Nilsson, yapay zekânın akıllı davranış üzerine bir çalışma olduğunu belirtmişlerdir (Öztürk & Şahin, 2018). McCarthy, arkadaşları ile yazdıkları bir mektupta bir makinanın zeki biçimde davranış sergilemesi olarak ifade etmiştir (McCarthy, Minsky, Rochester, & Shannon, 2006). Kaplan ve Haenlein, 2019 yılında yaptıkları bir çalışmada yapay zekâ kavramını; bir sistemin doğru biçimde dış verilerini yorumlaması ve yorumlanan bu verilerden öğrenmesi, öğrenilenleri esnek adaptasyon ile belli başlı hedeflere ve sorumluluklara ulaşmada kullanabilmesi olarak tanımlamışlardır (Kaplan & Haenlein, 2018). Stanford Üniversitesi'nde Yapay Zekâ Laboratuvarı Müdürü olan Sebastian Thrun, "Komplike bir durumu algılama ve bu duruma uygun biçimde karar verme" olarak tasvir etmiştir. Başka bir ifade de kavram, "Bireyler tarafından yerine getirilmesi amacıyla verilen görevlerin gerçekleşebilmesi için insan zekâsını kopyalayan ve elde ettikleri bilgilere göre tekrarlı olarak kendilerini yenileyebilen



sistemler (bot) ya da makinelerdir.” şeklinde tanımlanmıştır (Benli & Şenel, 2020). Boden’a göre yapay zekâ, ticari amaçların daha ilerisinde bir olgu olarak, insan zihninin çalışma mekanizmalarını anlamlandırabilmek amacıyla kullanılan bir araçtır. Yani, yapay zekâ çalışmaları, insan zihninin nasıl çalıştığına dair temel olan sorulara yanıt bulmak için bir araçtır (Boden, 2014). Feigenbaum ve Feldman ise daha farklı bir bakış açısı ile yaklaşarak, yapay zekânın amacını insan zekâsını kopyalayarak bilgisayar programları geliştirmeye çalışmak olarak ele almışlardır. Bu yaklaşım, yapay zekânın pratik uygulamalarına odaklanmaktadır (Feigenbaum & Feldman, 1963). Whitby ise daha geniş bir perspektif sunarak, yapay zekânın temel amacının insan, hayvan ve makine zekâsının tamamını içeren ortak bir temel bulmak olduğunu belirtmektedir. Bu yaklaşım, yapay zekânın insan zekâsıyla sınırlı kalmayarak tüm zekâ türlerini anlamlandırmaya dair bir çaba sarf ettiğinin altını çizmektedir (Whitby, 2005).

Yapay zekâ kavramıyla ilgili net bir tanım olmamasına rağmen, yapılan tanımlar yapay zekânın tanımında ortak noktanın insanların yürüttüğü faaliyetlerin/işlemlerin makineler ya da programlar sayesinde gerçekleştirildiği yönünde olduğunu göstermektedir.

Yapay Zekânın felsefeden bilgisayar bilimine dek uzanan, matematik, ekonomi, sinir bilimi, psikoloji, dil bilimi ve diğer alanlara ulaşan çok disiplinli bir yapıya sahip olması belirgin bir yapay zekâ tanımı yapmayı karmaşık hale getirmektedir. Her disiplinin kendine ait bakış açılarının ve yaklaşımlarının bulunması sebebiyle yapay zekâ genellikle her biri bir öncekinin daha gelişmiş hali olan üç bölümlendirmeye tanımlanmaktadır. Bu sınıflandırma **Yapay Dar Zekâ (Artificial Narrow Intelligence-ANI)** veya Zayıf Yapay Zekâ, **Yapay Genel Zekâ (Artificial General Intelligence-AGI)** veya Güçlü Yapay Zekâ ve **Yapay Süper Zekâ (Artificial Super Intelligence-ASI)** şeklinde 3 başlıkta yapılmıştır (Krieger, Boudier, Wibrat, & Almeida, 2024).

**Yapay Dar Zekâ (Zayıf Zekâ-ANI)** yalnızca sınırlı alanlar dahilindeki bazı görevleri oldukça başarılı biçimde yerine getiren ancak farklı zorluklar söz konusu olduğunda yeteneklerini genelleştiremeyen sistemlerdir. Sanal asistanlar, yayın platformlarının tavsiye sistemleri ve araçların navigasyon sistemleri Yapay Dar Zekâ kapsamında yer almaktadır. Bu sistemlerin temeli makine öğrenimi, sinir ağları ve kural tabanlı programlamadan oluşmaktadır. Mevcut yapay zekâ uygulamalarına hâkim olan Yapay Dar Zekâya en iyi örnek olarak Garry Kasparov’u 1997’de yenen IBM’in geliştirdiği Deep Blue verilmektedir. Bilgisayar, uzmanlaşmış algoritmalar vasıtasıyla sadece satrançta uzmanlaşarak verilen alakasız görevleri yerine getirememiştir. **Yapay Genel Zekâ (Güçlü Zekâ-AGI)** ise Yapay Dar Zekâ



(Zayıf Zekâ-ANI)'nın bir üst modeli olarak bir insanın yapabileceği tüm görevleri gerçekleştirebilen bir yapay zekâ sistemidir. Bu yapay zekâ sistemi henüz teoridedir çünkü henüz gerçekleşmiş bir örneği bulunmamaktadır. Dolayısıyla hipotez olarak kalmış bir kavramdır. Odaklandığı temel nokta, insan zekâsını taklit ederek herhangi bir göreve dair programlama ihtiyacı duyulmadan akıl yürütme, öğrenme gibi yeteneklere sahip olmasıdır. Bu bakımdan Turing Testi'nin insan zekâsını taklit edebilen makine vizyonu ile uyum içerisinde. DeepMind ve OpenAI gibi firmalar Yapay Genel Zekâ'ya ulaşabilmek amacıyla faaliyetlerini sürdürmektedir. *Yapay Süper Zekâ (ASI)* da ise tamamen bütün alanlarda insan zekâsını aşacak varsayımlara dayalı bir yapay zekâ sistemi söz konusudur. Kendini sürekli geliştirme yeteneği ile insanların sosyal yetenekleri de dahil olmak üzere her şeyi gerçekleştirebilmesi noktasında Yapay Genel Zekâ (Güçlü Zekâ-AGI)'dan ayrılmaktadır. Ancak Yapay Süper Zekâ (ASI)'nın ne zaman ve nasıl oluşacağıyla ilgili ortak bir fikir olmadığı için tartışmaya açık bir konu olarak sürmektedir (poltextLAB, 2025). Özetle (Singil, 2022):

- Yapay Dar Zekâ (Zayıf Zekâ-ANI): Belli başlı alanlarda verileri analiz ederek çözüm sunan sistemlerdir. Google Çeviri, Google Asistan, Sohbet Robotları örnek olarak verilebilir.
- Yapay Genel Zekâ (Güçlü Zekâ-AGI): İnsan zekâsını birçok konuda taklit etmesi ve insanla eş performans göstermesi beklenen sistemlerdir. Yaygın bir örneği bulunmamaktadır.
- Yapay Süper Zekâ (ASI): Bilgisayarların insan zekâsını kat be kat aştığı sistemlerdir. Daha çok hipotetik bir kavramdır.

Son derece büyük bir gelişme yaşayan Yapay Zekâ kavramı, iş dünyasında da oldukça popüler hale gelerek girişimciler ve tüketiciler tarafından teşvik edilmektedir. Yapay Zekâ, bilgiyi üretme ve kullanma süreçlerinde yarattığı değişikliklerle yöneticilerin aldığı kararların doğru olmasına destek çıkacak algoritmalar sunmakta ve veri, bağlantı ve etkileşimi yönetimin parçasından biri haline getirmektedir. Bilgi üretme süreçlerini değiştirmenin yanı sıra ticaret ve yönetim faaliyetlerini de etkileyerek iş yapış şekillerinde devrim niteliğinde farklılıklar meydana getirmiştir. Yapay zekânın sunduğu matematiksel modellerin organize edilmiş bilgi kümelerine sahip olması insanların aldığı kararlardan daha verimli olduğunu öne çıkarmıştır. Kısacası Yapay Zekâ, işletmelerin verimliliğini artırarak, karar alma süreçlerini değiştirip geliştirerek ve yöneticilerin meydana gelen değişimlere uyum sağlayabilmesi amacıyla ihtiyaç duyulan yeni yönetim modellerini geliştirmesin için kültürel değişim yaratıp destek olarak işletmelerde önemli bir konuma sahiptir (Şalvarlı & Kayışkan, 2022). İşletmelerin veri

analizleri, iş süreçleri gibi çoğu alanda aldığı kararların daha hızlı, verimli ve doğru olmasına ortam hazırlayarak rekabette avantaj elde ederek üstünlük sağlamasına yardımcı olmaktadır (Aktepe & Karakulle, 2023).

## 1.2. Yapay Zekânın Tarihçesi ve Dönüm Noktaları

Günümüzde oldukça geniş bir çalışma alanında yer edinmiş ve popülerleşmiş bir kavram haline gelen yapay zekânın il somut adımlarının 17.yüzyıla dek dayandığı görülmektedir. Yöneticiler ve aristokratlar başta gelmek üzere toplumun her kesimi insanların ve hayvanların davranışlarını kopyalayan otomatlar geliştirme çabasına girmişlerdir. Öyle ki, dönemin ünlü filozoflarından Descartes (1596-1650) da bu çabalardan etkilenerek insanı, saat gibi bir düzeneğe sahip olan makineler şeklinde tasvir etmiştir. İngiliz matematikçi olan Charles Babbage (1792-1871) bu ilgiyi, fiziksel özelliklerin de ilerisine geçerek zihinsel özelliklerin taklit edilmesine yönlendirmiştir. Bu amaç doğrultusunda kolay matematiksel işlemleri gerçekleştirebilen, ara işlem sonuçlarını muhafaza edebilecek bir kapasiteye sahip olan ve satranç le dama oynama yeteneği olan “Fark Motoru” isimli ilk hesap makinesini geliştirmiştir. Bu makine ile, o dönem açısından yapay zekâ çalışmalarına dair büyük ve ileriye dönük olarak atılmış ilk adım olarak benimsenmektedir (Schultz & Ellen-Schultz, 2007).

Modern yapay zekâ çalışmalarının önem ve hız kazanması İkinci Dünya Savaşı sırasında ve sonrasında yaşanmıştır. 1943'te McCulloch ve Pitts tarafında geliştirilen “Beynin Boolean Devre Modeli” yapay zekânın, özellikle Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme modellerinin, yapı taşını oluşturmuştur. Bu model ile insan beynindeki sinir hücrelerinin çalışma şeklini anlamlandırıp sayısal ve mantıksal olarak bir çerçeveye oturtmayı amaçlamışlardır (McCulloch & Pitts, 1943). İngiliz matematikçi olan Alan Turing'in Mind dergisinde yayımladığı bir makalesinde “Makineler düşünebilir mi?” sorusunu sorması yapay zekâ tarihinde kritik nokta olarak görülmüştür. Bu makale ile makinelerin karar verme ve problem çözüme yeteneklerinde mantığı ve bilgileri kullanıp kullanamayacağını araştırmıştır. İlerleyen zamanlarda, “Turing Testi” olarak kullanılacak testin fikri ilk olarak bu makalede ortaya atılmıştır (Turing, 1950). Yapay zekânın temeli bu makale ile olmuş ve fikrin babası olarak Alan Turing benimsenmiş olsa da “Yapay Zekâ” terim olarak ilk kez John McCarthy tarafından 1956 yılında Dorthmund Konferansı'nda kullanılmıştır. McCarthy'nin yanı sıra bu konferansta Minsky, Rochester ve Shannon da bu kavramı ele almıştır (McCarthy, Minsky, Rochester, & Shannon, 2006).

1960'lı yıllarda bilgisayarların bilgiyi daha rahat saklaması ve hızlı çalışmasıyla beraber yapay zekâ konusu hız kazanarak birçok çalışmada yer almaya başlamıştır. Benzeşim (1963), Bilgin (1970) ve Stajyer (1979) gibi yapay zekâ programları geliştirilmiştir (Kutlusoy, 2019). Özellikle Joseph Weizenbaum tarafından MIT'nin yapay zekâ çalışmalarının yürütüldüğü laboratuvarlarında geliştirilen ve doğal dil işleme programlarının ilk örneği olan ELİZA isimli program öne çıkmıştır. 1980'lerde bilgisayarların bilgileri arasında ilişki kurabildiği bir dönemin başlamasıyla John Hopfield ve David Rumelhart tarafından öne sürülen “Derin Öğrenme” tekniği geliştirilmiştir. Aynı zamanda insanların karar mekanizmalarını taklit edebilen “Uzman Sistemler” programı da Edward Feigenbaum tarafından alana kazandırılmıştır. 1990'lılar döneminde, Yapay Sinir Ağlarının yükselmesiyle “Öğrenen Sistemler” olarak nitelendirilerek bu yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Kedi hakkında bilgisi olmayan bir makineye kedilerin resimlerinden faydalanarak tanımlayıcı karakterlerini ortaya çıkarması ve resimleri sonradan tanıyabilecek biçimde olması örnek olarak verilebilmektedir. Bu durum aynı zamanda, Makine Öğrenimi sürecinin başlangıcında rol oynamaktadır (Arslan, 2020).

IBM tarafından 1997'de üretilen Deep Blue (Derin Mavi) isimli satranç oynama programının dünya satranç şampiyonu olan ve “büyük usta” olarak nitelendirilen Gary Kasparov'u yenmesi büyük yankı uyandırmıştır. Bu olay bilgisayarın insanlardan daha iyi olduğu konuların olabileceği görüşünü kuvvetlendirmiştir (Schultz & Ellen-Schultz, 2007). IBM'in geliştirdiği son yapay zekâ programı olan Watson süper bilgisayar, Türkiye'de Büyük Risk olarak yayınlanan Amerika'daki “Jeopardy!” isimli yarışmada kullanılmış ve insanlardan daha hızlı yanıt vererek yarışmayı kazanmıştır (Sariel, 2017).

Yapay zekâ çok hızlı yol almaktadır. Siri benzeri kişisel asistanlar, sürücüsüz araçlar, dil çeviri programları, akıllı eğitim yönetim sistemleri, hasta takip sistemleri, otomasyon gibi birçok faaliyet ile insan yaşamını bir yandan daha güvenli hale ve hatasız hale getirirken bir yandan da hızlı ve karmaşık ortamda profesyonel hayatı kolaylaştırıcı bir unsur haline gelmiştir.

### 1.3. Yapay Zekâ Teknolojileri

Gün geçtikçe çoğalan ve gelişim gösteren sistemlerin bir bütünü olan yapay zekâ, zamanla daha da gelişebilmek amacıyla yeni alt sistemsel kavramların da meydana gelmesinde etkili olmaktadır. Her geçen gün, yapay zekânın alt sistemlerinin sayısı gittikçe çoğalmaktadır.

**Makine Öğrenmesi (Machine Learning-ML):** Yapay zekânın bir alt sistemi olan makine öğrenmesinin odak noktası, programlanmaya gerek duyulmaksızın verilerden öğrenilmesi ve alınan kararların ve

yapılan tahminlerin verilere dayalı gerçekleştirilmesini sağlayan istatistiksel modellerin geliştirilmesidir. Temel fikir, bilgisayarların veriden öğrenmesine ve performanslarını geliştirmesine imkân sunmaktır. İnsan gözünden kaçabilecek kalıpları yakalayıp verilerde doğru biçimde tahmin yürütme ve değişen şartlara uyum gösterme yeteneği ile karar alma süreçlerinde etkili olmaktadır. Bu noktada verilerin kalitesi ve performansı kritik önem taşımaktadır. Tahmine dayalı analizler, desen tanıma, doğal dil işleme, tavsiye sistemleri ve sağlık hizmetleri gibi alanlarda uygulanmaktadır (Babu & Banana, 2024). Havacılık sektöründe de oldukça geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bu duruma örnek olarak makine öğrenmesi ile uçuş operasyonlarında tahminlemeler, yolcu ve yük tahminlemeleri, uçuş gecikme tahminleri, türbülans analizi, terminal içindeki ve dışındaki varlıkların konumlarının takibi ve bagaj kaybını önlemeye dair faaliyetler yapılabilir (Çankaya, 2020).

**Derin Öğrenme (Deep Learning-DL):** İlham kaynağı insan beyni olan ve oldukça katmanlı bir yapay sinir ağı mimarisi kullanan Derin Öğrenme, Makine Öğreniminin bir alt dalıdır. Odak noktası, çoğalan soyutlama basamaklarının minimum insan müdahalesiyle öğrenilmesidir. Birçok veri kaynağından temin edilen bilgiler, insan müdahalesi olmaksızın gerçek zamanlı olarak analiz edilmekte ve Grafik İşlem Birimleri aracılığıyla çoğu hesaplama aynı anda gerçekleşmektedir. Görüntü analizi, ses analizi, robotik, otonom araçlar, yüz tanıma sistemleri, gen analizleri, sanal gerçeklik, kanser teşhisleri, görüntü iyileştirme gibi alanlarda uygulanmaktadır (Tekin & Demirel, 2024).

**Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing-NLP):** İnsan dili ile bilgisayarların anlamlandırması arasındaki boşluğu gideren Doğal Dil İşleme araçları, bilgisayarların insan dilini anlaması, yorumlaması ve benzerini üretmesi için geliştirilmiş teknolojilerdir. Bunu yapabilmek için metinleri, konuşmaları ve verileri ayrıştırarak dilin anlaşılmasını daha kolay hale getirirler ve kelime anlamları, cümle yapıları, bağlam ve duygular olmak üzere dildeki farklılıkları ayrıştırabilmek için semantik analizden faydalanarak duygu analizi, çeviri gibi işlevleri gerçekleştirirler. İnsan dilindeki karmaşıklığı anlama becerisi, çok modlu veri entegrasyonu ve kendi kendini iyileştirir yapıya sahip olması gibi benzeri olmayan uzmanlık alanları bulunmaktadır. Sohbet robotları, dil çevirileri, bilgi alma ve metinleri sınıflandırma gibi alanlarda uygulanmaktadır (Babu & Banana, 2024).

**Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network-ANN):** Yapay sinir Ağı, beynin sinir ağı işleme şeklini kopyalayıp bilgi işleme yoluyla bilgiyi zihinde tutmak amacıyla insan beyninin sinir ağını bilgi işleme perspektifinden

soyutlayarak kolay bir model oluşturmakta ve çeşitli ağları ortak paydada birleştirmektedir. Yapay Sinir Ağında bir nöron işleme birimi; Dış dünyadan sinyallerin ve verilerin alındığı “Girdi Birimi”, işleme sonucunun çıktısını sunan “Çıktı Birimi” ve her iki birimin arasında kalan ve sistemin dışından gözlemlenemeyen “Gizli Birim” olmak üzere üç kategoriden oluşmaktadır. Bu birimler aracılığıyla bilgiyi programlanmamış, adaptif ve beyin tarzı bir şekilde işlemektedir. İşlenen bilgiler sezgisel ve yapılandırılmamış bilgilerden oluşmaktadır. Örüntü tanıma, akıllı robotik, otomatik kontrol, tahmin ve tıp gibi alanlarda uygulanmaktadır (Wu & Feng, 2018). Havacılık sektöründe yedek parça talep tahmini, bagajlarda bulundan yasa dışı nesnelerin tespiti, uçuş esnasında kanat ve kuyruk bölgelerinde meydana gelen uçak içi yüklerden kaynaklı etkilerin analizi gibi konularda sağladığı çözümler ile birçok karmaşık problemi açığa kavuşturmaktadır (Çankaya, 2020).

**Uzman Sistemler (Expert Systems-ES):** Temel amacı uzmanın bilgi ve mantıksal çıkarım mekanizmasını model haline getirmek olan Uzman Sistemler, çözmek amacıyla insan bir uzmanın bilgi ve yeteneğine ihtiyaç duyulan sorunları uzman gibi çözebilen akıllı sistemlerdir. Bu problemleri çözmek için depolanan bilgileri kullanmakta, mantıksal çıkarımlar yaparak sonuçlar elde etmektedir. Uzman Sistemler; bilgi tabanı (kural tabanı), veri tabanı, çalışan bellek (yardımcı yorumlama modülü), çıkarım motoru (karar verme mekanizması, mantıksal çıkarım modülü) ve kullanıcı arayüzü gibi temel bileşenlerden oluşmaktadır (Atalay & Çelik, 2017). Havacılık sektöründeki faaliyetler yoğun bilgi birikimine ihtiyaç duyduğundan dolayı uçak bakım sürecinde ve havalimanı pistlerindeki deformasyonların tespitinde faydalanılmaktadır (Çankaya, 2020).

#### **1.4. Yapay Zekânın Havacılık Sektöründeki Rolü ve Etki Alanları**

Yapay zekâda yaşanan gelişmeler çoğu sektörde olduğu gibi havacılık sektörünü etkilemiş, havacılık sektöründe önemli konulardan biri haline gelerek karar alma, tahmin ve ağ yönetiminin iyileştirilmesinde rol oynamaya başlamıştır. Havacılık sektöründe uçuş planlama sürecinden yakıt optimizasyonuna, hava trafik kontrolünden bakım yönetimine dek çoğu faaliyette yapay zekâ uygulamalarından faydalanılmaktadır (Şahin, 2024). Yapay zekânın havacılık sektöründe yadsınamaz bir payının olduğunu gören kurucu otoriteler de bu konuda işletmeleri yönlendirmektedir. EASA'nın önce yapay zekâ yol haritasını ardından da sektörde makine öğreniminin sertifikasyonu için ilk kılavuz belgelerini yayınlaması buna örnek olarak verilmektedir (Torens, Gupta, Roy, Sprockhoff, & Durak, 2024).

Özellikle bakım konusu uçak operasyonlarının emniyeti, güvenilirliği ve finansal açıdan devamlılığı için kritik öneme sahiptir. Bunun sebebi uçakların, uçuş esnasında maruz kaldıkları zor şartlar yüzünden yaşlanması ve aşınması ile düzenli bakımın ihmal edilmesi durumunda, yolcuların ve mürettebatın güvenliğini tehdit edecek sistem sorunlarını meydana getirmesidir. Bakımın yetersiz kalması durumunda uçakların yere indirilmesin işletmeler için finansal açıdan büyük sonuçlara ortam hazırlayacaktır. Statista tarafından hazırlanan rapora göre; sektördeki planlanmamış uçak bakımlarının yıllık maliyetlerinin 2035'e dek 39 milyar ABD dolarına ve küresel çapta filo büyüklüğünün ise 2019-2041 yılları arasında 2 kat katlanarak 47.080 uçağa ulaşması öngörülmektedir. Filo büyüklüğünde meydana gelebilecek olan artış, uçaklardaki kapsamlı veri akışıyla ele alındığı zaman bakım ihtiyaçlarına duyulan gereksinimi artıracaktır. Operasyonel maliyetlerin giderilmesi, güvelik tehdidin engellenmesi ve operasyonların aksatılmamasında yapay zekâ etkili bir unsur olarak görülmektedir (Khan, Nasim, & Rasheed, 2025). 2020 yılında Doğru vd., uçağı tarayarak kısa süre içerisinde geniş bir kusur alanı sunan drone tabanlı sistemlerin kullanılarak uçak bakımı yapılmasını araştırmışlar ve araştırmada denetim süresinin azaltılması, güvenlik ve kişisel koruyucu ekipman maliyetlerinin indirgenmesi, karar süresinin kısaltılması insan hatasının azaltılması gibi faydalara değinerek göçük gibi problemleri tespit etmede yüksek seviyede doğruluk oranlarına ulaşarak kusur tespit performansını iyileştirmeye dair teknikler önermişlerdir (Doğru, Bouarfa, Arizar, & Aydoğan, 2020). Wei vd. (2024) yaptıkları çalışmada bir model önererek uçuş planlamasındaki gelişmelerin filo işletme maliyetlerini de azaltacağına etkili olacak bir potansiyele sahip olacağını ifade etmişlerdir (Wei, Yang, Wu, & Sun, 2024). Abdelghany vd. (2023), uçak kanadında meydana gelen buzlanmayı engelleyecek sistemin sıcaklığını tahmin edebilmek için yapılacak modelde yapay zekânın alt modellerinden olan makine öğreniminin kullanılması önermişlerdir. Öneri teste tabi tutulduğunda yapay zekânın kullanıldığı yaklaşımın, geleneksel yöntemlere göre daha verimli olduğu ve hız kazandırdığı gözlemlenmiştir (Abdelghany, Farghaly, Almalki, Sarhan, & Essa, 2023). Gao ve Mavris (2022), havacılık sektörünün çevresel etkilerini analiz etmek için faydalanan veri odaklı yaklaşımların gelişimini tespit edebilmek ve makine öğrenimi ve istatistiğin çevresel etki analizlerini nasıl verimli ve doğru hale getirdiğini incelemek için çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda makine öğrenimi ve istatistiğin çevresel etkileri analiz etmede önemli bir değişim yarattığını tespit etmişlerdir (Gao & Mavris, 2022).

Havacılık sektörü için önem arz eden ve sektörün önceliklerinden biri olan uçuş güvenliği konusunda da yapay zekâ büyük çözümler sunmaktadır.



Lin (2023), yaptığı çalışmada yapay zekânın alt dallarından biri olan derin öğrenme sistemleri ile uydu navigasyon kalitesinin değerlendirilmesi ve tahmin yönteminin geliştirilmesi konusunda büyük bir potansiyelinin olduğunu vurgulamış ve güvenlik önlemlerinde kullanılabileceğini belirtmiştir (Lin, 2023). Madeira vd. (201), havacılık kaza raporlarını inceleyerek insan faktörü kategorilerini tespit etmek ve kategorize etmek için bir metodoloji sunmuşlardır. Bu metodoloji için doğal dil işleme ve makine öğrenme teknolojilerini kullanmışlar ve kısıtlı sayıdaki verilere rağmen yüksek bir tahmin performansı elde etmişlerdir (Madeira, Melicio, Valerio, & Santos, 2021). Monika vd. (2023), havacılık sektöründe meydana gelen kazaların doğru şekilde tahmin edilmesi için zaman serisi tabanlı makine öğrenimi modeliyle analiz yapmanın avantajlarını vurgulamışlardır. Bu yöntemle tahmin yeteneğinin geliştireceği ve hem kazaları önleme hem de kaza ihtimalini azaltmak için gereken bilgilerle çeşitli gizli kalıpların ortaya çıkmasına destek olunduğunu ifade etmişlerdir (Monika, Verma, & Kumar, 2023). Ray vd. (2023), emniyet analizlerinde üretken dil modellerinin, analizlerin verimliliğini artırmak ve raporların işlenişini hızlandırmak için araç olarak kullanılma potansiyelini araştırmışlardır. Özellikle ChatGPT kullanılarak Havacılık Emniyet Raporlama Sistemi (ASRS) veri setinden elde edilen gerçek özetler kıyaslanmıştır. Çalışma, bu tür modellerin etkili biçimde kullanılmasını sağlamak, sürekli iyileştirmeye ortam hazırlamak ve havacılık güvenliğinde iş birliğine dayalı bir yaklaşımı desteklemek için insan odaklı bir sistem önermektedir (Ray, ve diğerleri, 2023).

Yapay Zekânın havacılık sektöründe etkili olduğu kritik noktalardan bir diğeri de hava trafik yönetimidir. Degas vd. (2022), hava trafik yönetiminde yapay zekânın kullanışlılığını inceleyerek yapay zekânın benimsenmesinde açıklanabilir yapay zekânın nasıl bir role sahip olduğunu ele almışlardır. Çalışma sonucuna göre hava trafik yönetiminde yapay zekâ sistemlerinin benimsenmesi için daha fazla çalışmaya gerek duyulmaktadır (Degas, ve diğerleri, 2022). Yapay zekâdan faydalanarak uçuş rotası tahmininin geliştirilmesine yönelik DART ve COPR\_TRA projeleri, uçuş öncesinde ya da esnasında hava aracının performansını öngörmek için makine öğrenmesine dayanan bir uçuş rotası tahmin yeteneği geliştirilmiştir. Aynı şekilde stratejik planlamanın iyileştirilmesi için de INTUIT projesi güvenlik, çevre, kapasite ve verimlilik arasındaki ilişkiyi anlamlandırmak için makine öğrenme teknikleri geliştirilmiştir. Yolcuların davranışlarının anlaşılması amacıyla The BigData4ATM projesi geliştirilerek yolcuların davranışlarını, seyahat süreleri ve seyahat modu seçimlerini belirlemek için konum verilerinin nasıl analiz edileceği araştırılmıştır. Bu sayede optimum kararlar almak ve

tahmin edilebilir operasyonlar için şebekeye sunulacak zaman çizelgelerini iyileştirmek amaçlanmıştır (EASA, 2020).

Her ne kadar yapay zekânın havacılık sektöründe uygulanmasıyla ortaya çıkan birçok fayda olsa da bunun gerçekleşebilmesi için kritik nokta yapay zekânın benimsenmesidir. Ancak benimsenmesi konusunda da karşı karşıya kalınan güçlüklerin aşılması gerekmektedir. Bu zorluklardan bir tanesi güven, şeffaflık ve etikdir. Bir diğer konu ise veri gizliliği ve güvenlidir. Yapay zekânın etkili çalışabilmesi için yolcuların bilgilerine ve uçuş verilerine ihtiyaç vardır ve bu durum gizlilik ve güvenlik bakımından oldukça büyük risk taşımaktadır. Veri ihlallerini ve siber saldırıları engellemek için güçlü şifreleme metotları ve güvenlik protokolleri uygulanmalıdır. Siber güvenlik tehditleri ve uçuş aksamalarının önlenmesi için yapay zekâ faaliyetlerinin güvenilirliğinin devamlı olarak kontrol edilmesi gerekmektedir (Şahin, 2024).

## 2. Havalimanı Yönetim ve Organizasyonunda Yapay Zekâ

Havalimanlarının ulaşım modlarını da birleştiren hub noktaları olma özelliklerinin yanı sıra, “airport city” olarak sosyal ve iş hayatı için yaşama alanları olmalarıyla havacılıkta ve turizmde arz ve talep dengesini etkileyen belirleyicilerden birisidir. Böylesi önemli merkezleri paydaşlarının ihtiyaç ve isteklerine göre geliştirmek ve hatta dönüştürmek tercihten öte havalimanları için sürdürülebilirlik için gereklidir.

Havacılık sektörü, teknolojinin gelişmesi ve meydana gelen değişim gereksinimleri yüzünden devamlı kendini yenilemek ve geliştirmek zorundadır. Modern teknoloji ve dijitalleşmenin sunduğu fırsatlar ve zorluklar artan yolcu sayısının ihtiyaçlarında da değişiklik yaratmaktadır. Havaalanlarının değişen ve artan yolcuların ihtiyaçları ve beklentilerine uyum sağlayacak şekilde dönüşmesi de gereklilik halini almıştır (Rauch & Hen, 2024).

Havalimanları her ne kadar yapım ve kurulum evrelerinde çok maliyetli olsalar da bulundukları ülkeler için stratejik önem yaratan ve yüksek gelir sağlayan yapılardır. Bu yüzden kaynakların etkili ve verimli kullanılması zorunluluk halini almaktadır. Bulundukları bölgenin ekonomisine hizmet ve üretim kapsamında katkı sağlayarak bölgesel işletmelerin ve bölge sakinlerinin yaşam kalitesini artırmaktadır. Turizm sektörüne sağladıkları olumlu katkılar ile bulundukları bölgeleri sosyal ve ekonomik bakımdan da etkilemektedirler. Havalimanlarının sağladığı ulaşımı kolaylaştırma, seyahat seçeneklerini çoğaltma, istihdam sağlama, hizmet talebini çeşitlendirme



gibi birçok faydanın bölgesel ve ulusal refahı arttırdığı gözlemlenmektedir (Çopur, Yıldırım, & Durmaz, 2023).

Havacılık sektörünün kurucu otoritelerinden olan Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA), havalimanı terminallerinin yolcu taleplerini karşılaması ve terörizm, salgın hastalıklar, kötü hava koşulları gibi sebeplerden dolayı devlet kısıtlamalarını göz önünde tutarak kuyruklardaki bekleme süresi, kalabalık seviyesi ve yaşanan gecikmeler bakımından sunulan hizmetin yeterli düzeyde olması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu yüzden havaalanları, talep artışını yönetmek ve daha fazla yolcuya hizmet sunmak zorundadır. Bu durum hem maliyet yaratmakta hem de yolcu ihtiyaçlarıyla baş etmek ve terminaldeki hareketleri optimum seviyede tutmak açısından zorluk oluşturmaktadır. Yapay zekâ modelleri, talep artışını yönetmek ve operasyonel verimliliği optimum seviyeye ulaştırmanın yanı sıra sürdürülebilirliği de iyileştirmek için sonuç odaklı çözümler sunmaktadır. Havaalanlarındaki akıllı kuyruk yönetimi çözümleri bu duruma örnek olarak verilebilir. Sanal kuyruklar aracılığıyla yolculara daha iyi oryantasyonun sağlanabilir, uçuş yöneticilerine kaynak tahsisi ve havaalanı faaliyetlerini optimum seviyeye ulaştırma konusunda destek olabilir ve bu sayede hem öngörülemeyen olaylara yönelik daha organize bir yanıt hem de sürdürülebilirlik için operasyonel kuvvet sağlar, terminallerdeki kalabalık yönetimi ile yolcu güvenliği ve yüksek seviyede hizmet sunmaktadır (Anagnostopoulou, Tolikas, Spyrou, Akac, & Kappatos, 2024).

## **2.1. Akıllı Havalimanı Konsepti**

Hızla gelişen modern havacılık sektörüyle yolcu hacminde yaşanan hızlı artış, gelişmiş havalimanlarının verimlilik düzeyini yükseltmek ve önceden yetersiz kalan altyapıyı da kullanılabilir hale getirmek için teknolojiyen faydalanmayı zorunlu kılmaktadır (Medvedev, Alomar, & Augustyn, 2017). Çünkü yolcu hacminde yaşanan artış; var olan altyapının güvenilirliğini inceleme, terminal kapasitesini yükseltme, süreç verimliliğini oluşturma, gelir modellerini iyileştirme ve hizmet kalitesini artırma gibi konular önde gelmek üzere havaalanı operatörleri açısından baskı yaratmaktadır (Sabatová, Galanda, Adamčík, Jezný, & Šulej, 2016). Havacılık sektöründe dijital uygulamaların kullanılmasıyla havalimanları da farklı bir boyut kazanmıştır. Pandemi sürecinden önce yoğun olarak kullanılan teknoloji, pandeminin ardından yolcuların da dijitalleşme sürecine dahil olmasıyla çok daha farklı bir boyuta evrilmiştir. Günümüzdeki akıllı havaalanlarında otonom sürüş gerçekleştirebilen bagaj araçları, servis kioskaları, otonom bagaj teslim köşeleri, biyometrik tanıma ve pasaport süreçlerini neredeyse 15 saniyeye dek düşürebilen yüz tanıma sistemleri gibi yenilikçi faaliyetler

uygulanmaktadır. Bu sistemlerin, dünyada en çok ziyaretçi ağırlayan Londra Heathrow Havalimanı, Hamad Uluslararası Havalimanı, Singapur Changi Havalimanı, Indira Gandhi Uluslararası Havaalanı ve Dubai Uluslararası Havalimanı gibi büyük havaalanlarında kullanıldığı görülmektedir. Yapay zekâ destekli faaliyetler sayesinde akıllı havaalanları gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte, analitik bakımdan gelişmiş sağlamlığa erişmekte ve yüksek seviyede verimlilikle işletilmektedir (Kurçer & Civelek, 2023).

Teknolojide meydana gelen gelişmeler, havalimanlarını da “Akıllı Havaalanı” konseptine doğru yönlendirmektedir. Akıllı Havaalanı konsepti, dördüncü sanayi devriminin etkisiyle ortaya çıkarak geleneksel havalimanlarının yetersiz kaldığı noktaları iyileştirerek gelişim göstermektedir. Bouyakoub vd. (2017) yaptıkları çalışmada, Airport 4.0 konseptini kendi inovasyonunu iyileştirmek amacıyla büyük veri başta olmak üzere verilerden faydalanan bir konsept olarak ele almışlardır (Bouyakoub, Belkhir, Guebli, & Bouyakoub, 2017). Qi ve Pan (2018) ise, Akıllı Havaalanı konseptinin, hizmet sürecinde nesnelerin interneti, mobil ağ ve büyük veri gibi yapay zekânın alt teknolojilerinden faydalananak “insan-makine entegrasyonu” oluşturma yöneliminde olduğunu ifade etmişlerdir (Qi & Pan, 2018).

Havaalanlarında dijital dönüşüme dair yapılan birçok çalışma yer almaktadır. Zaharia ve Pietreanu, Romanya Henri Coanda Havalimanı’nın dijital dönüşümde yaşadıkları teknolojik açıdan zorlukları inceleyerek check-in, güvenlik, gümrük ve yolcu hizmetleri için çözüm önerileri sunmuşlardır. Siddiqui, Tam entegre bir Akıllı Havalimanı’nın temellerinin oluşturulması için ihtiyaç duyulan Havalimanı Bilgi Yönetim Sistemleri (AIMS) mimarisini açıkladığı bir çalışma yapmıştır. Rajapaksha ve Jayasuriya, havacılık güvenliği, yolcu kolaylığı, faaliyetlerin verimliliği ve kısıtlı kaynakların optimum seviyede kullanılması gibi aşamalarda Akıllı Havalimanı operasyonlarının avantajlarını incelemişlerdir. Katerna ve Molchanova, Ukrayna’daki dijital dönüşüm süreçlerindeki yasal ve düzenleyici teşviği analiz ederek Ukrayna Havaalanlarının altyapı geliştirme seviyesinin çok düşük düzeyde olduğunu tespit etmişlerdir. Artar ve Türkay, havacılık endüstrisinde dijital dönüşüm araçlarının konumunu ve havalimanlarında uygulanma süreçlerini ele alarak 6 gelişmiş havalimanının karşılaştırmışlardır. Alpar, Erturgut ve Alır, Akıllı Havalimanı ya da Havalimanı 4.0 kavramını araştırarak tanımını ve pratik sonuçlarını havaalanı örnekleri bazında incelemişlerdir (Yüksel, Kalan, & Işık, 2022).

Akıllı havalimanları, Nesnelerin İnterneti (IoT) başta olmak üzere güncel teknolojilerden, büyük veri ve mobil uygulamalardan yararlanarak müşteri deneyimini iyileştiren ve artan bir kapasite ve altyapı kullanımı imkânı

yaratan havalimanlarından biridir. Bu teknolojiler aracılığıyla yolcular ve havaalanı çalışanlarının tamamı havalimanı faaliyetlerinde karşılaştıkları çevresel ve operasyonel değişikliklere çok daha hızlı cevap verebilmektedirler. Dolayısıyla akıllı havalimanları, trafik hacmini ve etkisini düşürmeyi, operasyonel verimliliği yükseltmeyi ve müşteri deneyimini geliştirmeyi amaçlamaktadır (Kováčiková, Novák, Kováčiková, & Sedláčková, 2022). Dijital Akıllı Havalimanı; yazılım ürünlerini, modern navigasyon ve iletişim ekipmanlarını kapsayan, birbiriyle iç içe olan ve entegre çalışan karmaşık bir sistemdir. Böylesine karmaşık bir sistemin temel amacı, havalimanlarının yönetimsel ve operasyonel kısımlarını iyileştirmektedir. Bu doğrultuda hedeflerini ise şu şekilde sıralamak mümkündür (Khadonova, Ufimtsev, & Dymkova, 2020):

- Yönetim süreçlerini verimli biçime getirmek.
- Çalışanların görevlerini yerine getirmesinde kontrol sağlayarak insan hatasını düşürmek.
- Uçakların yer hizmetlerini ve uçuş hareketlerini takip ederek kontrol oluşturmak.
- Yer hizmetleri araçları gibi ekipmanlara gerçek zamanlı hizmet sunmak.
- Güvenlik kontrolünü sağlamak.

Özetle, bir havaalanının akıllı bir altyapıya sahip olduğunu vurgulayan ve faaliyetlerin en sın teknoloji ile gerçekleştirildiğini ifade eden Akıllı Havalimanı, dijital dönüşümün uygulanması için merkezi faaliyetleri odak noktasına almaktadır. Yolcu operasyonları ve prosedürleri (check-in, binış), bagaj taşıma, araçlarla kontrol, akıllı park etme gibi operasyonları gerçekleştirebilmek için Büyük Veri (Big Data), biyometrik teknolojiler, yapay zekâ (AI), self servis, uçuş bilgi sistemleri ve iç mekân navigasyonu, havalimanı mobil uygulamaları gibi Endüstri 4.0 ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerinden yararlanmaktadır (Başar, 2023).

## 2.2. Operasyonel Faaliyetlerde Yapay Zekâ Uygulamaları

Havacılık faaliyetlerinde verimliliğin artırılmasında önem arz eden konulardan biri yolculara dair verilerin elde edilmesidir. Akıllı havalimanlarının en büyük avantajı büyük veri analizini kullanıyor olmalarıdır. Çünkü bu sayede; yolcu davranışlarının tespit edilebilmesi, yolcuların toplanma noktalarının takip edilmesi, bir yolcunun bekleme süresinin ortalamasının hesaplanması ve yolculara dair kişisel davranışların tamamının akıllı veriler doğrultusunda belirlenebilmesi gerçekleşmektedir. Operasyonel verimlilik seviyesini yükseltmek isteyen modern havaalanı işletmecileri için ağ

altyapısı ve algılama, veri yönetim altyapısı, veri analitiği ve yapay zekâ ve makine öğrenimi kapasitesine duyulan ihtiyaç oldukça fazladır. Bu ihtiyaca örnek olarak algılamada, analizde, tahminde daha iyi olan ve operasyonel verimliliği yükseltebilen birçok uygulama için yapay zekâdan yararlanan Singapur Changi Havalimanı verilmektedir. Yine aynı şekilde Güney Kore Incheon Havalimanı, akıllı teknolojiiden faydalanarak gerçek zamanlı verileri kullanmış ve bu sayede operasyonel verimliliğini yükseltmiştir. Uçuşlarda meydana gelen rötarların, kalkış öncesindeki bekleme sürelerinin ve yolcu terminal sürecinin gerçek zamanlı izlenebilmesiyle yolcuların rahatlığı artırılmıştır (Rajapaksha & Jayasuriya, 2020).

Terminal, uçuş ver yer hizmetleri başta olmak üzere kısıtlı havalimanı kaynaklarının optimum seviyede kullanılması için sunulan en iyi çözümlerden biri Akıllı havalimanı konseptidir. Bunun sebebi, yapay zekâ analizinde yapılan veri girişlerinin tam şekilde sağlanması için nesnelerin internetinden faydalanarak gerçek zamanlı veri sistemlerinin kullanılması ve terminalin en yoğun zamanlarının tahmin edilmesiyle akıllı havalimanlarının sağlam çözümler üretebilmesidir. Bu çözümlere örnek olarak robot teknolojisinin, kişiselleştirilmiş cep telefonu mesajlarının, akıllı bilgi panellerinin ve “Havalimanı İşbirlikçi Karar Verme (A-DCM / Airport Collaborative Desicion-Making)” sistemleri verilebilmektedir. Bu sayede elde bulunan kısıtlı kaynaklar optimize edilebilmektedir. Bu çözüm yollarından A-CDM sistemini, 2017’de Incheon Havalimanı gerçek zamanlı verileri uçuş ve yer hizmetleri kulesi ile entegrasyon yapısında kullanmıştır. Bu sistemle, uçakların kalkış saatleri doğrultusunda meydana gelebilecek pist kuyruklarına oluşmadan önce müdahale edebilmek kabiliyetine sahip olmuştur. Aynı zamanda kullanılan akıllı teknoloji sayesinde, aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerini belirlenmiş zaman dilimindeki taleplere göre yöneterek enerji tüketiminin azaltılmasını sağlamıştır. Bu sayede enerji tüketiminin sebep olduğu maliyetlerin de düşürülmesi mümkün hale gelmiştir (Özden, 2024).

Uçak dönüşleri esnasında yer hizmetlerinde oluşabilecek aksaklıklar ve gecikmeler hem yolcuların rahat olmasını engellemekte hem de havalimanı ve havayolu işletmelerine maddi açıdan zarar vermektedir. Aynı zamanda yaşanabilecek uçuş gecikmeleri yüzünden itibar kayıpları da meydana gelmektedir. Bu yüzden, havalimanı yer hizmetleri sürekli izlenmeli ve takip edilmeli, zaman çizelgeleri eksiksiz ve doğru biçimde yapılmalıdır. Yer hizmeti izleme ve takip sistemlerinin insan faktörü odaklı gerçekleştirilmesi, uçakların her biri için kayıt oluşturma ve izlenme sürecini zorlaştıracığından emek merkezli olacaktır. Bunun yanı sıra, meydana gelen dönüş verileri insan faktörünün müdahalesi yüzünden oldukça şüpheli olacaktır. Bilgisayarlı görme, görüntü işleme ve derin öğrenme sistemlerinde yaşanan ilerlemelerle

ortaya çıkan akıllı sistemler sayesinde bu zorlukların aşılması mümkün hale gelmektedir. Bu yüzden, uçakların dönüş esnasında havalimanı operasyonlarını otomatik biçimde algılayan ve izleyen bilgisayar görme tabanlı yapay zekâ teknolojilerinin kullanılması etkili olacaktır. Bu teknolojiler sayesinde apronlara yerleştirilecek kameralarla uçakların faydalandığı hizmetler otomatik biçimde belirlenebilir, izlenebilir ve takip edilebilir. Böylelikle yer hizmetlerindeki gecikmeler ve aksamalar azaltılabilir ve gecikmelerden ya da aksamalardan kaynaklı maliyetler azaltılarak kâr seviyesi yükseltilebilir. Yer hizmetleri operasyonlarının başlangıç ve bitiş saatlerinin düzenli ve doğru biçimde kaydedilme imkânıyla ileriye yönelik operasyonel planlama süreci kolaylaşabilmektedir. Bu durum yönetsel operasyonları da kolaylaştırabilmektedir (Yıldız, Aydemir, Memiş, & Varlı, 2022). Yer Hizmetleri operasyonlarında kullanılan teknoloji örneklerine Self-Servis Kioskları (CUSS) verilebilir. Kiosklar, yoğunluğun fazla olduğu bölgelerde satış ya da hizmet sunmak amacıyla kullanılan, yazılımlar vasıtasıyla çalışan, küçük, bağımsız, elektronik bir kabindir. Kullanılan bu teknoloji ile yolcular yer hizmetlerinde destek sunan personelden bağımsız kendi kendilerine hizmet üretebilmektedirler. Yolcular bu teknoloji sayesinde check-in yapabilir, biniş kartını çıkartabilir, bagajını tartarak etiketini basabilir, pasaport/vize gibi kimlik belgelerini tarayarak doğrulatabilir ve bagaj bırakma kontuarına bagajını teslim edebilir. Böylelikle yolcu süreçleri hızlanmakta, sıkışıklık ve kuyruklar azalmakta, operasyonel verimlilik artmaktadır (Pamuk, 2025).

### **2.3. Yolcu Deneyimi ve Güvenlikte Yapay Zekâ Uygulamaları**

Havaalanı yönetimi, kısıtlı bir işletme ortamı olmasına rağmen ciddi sorumluluk barındıran bir iştir. Bunu yerine getirmek için eldeki kaynaklar iyi yönetilmelidir. Hem iç hem de dış kurumlara gereken ilgi gösterilmeli, verilecek hizmet zamanında sunulmalı, hem yolcuların hem de ziyaretçilerin güvenliği sağlanmalı ve havacılık mevzuatlarına uygun davranarak havalimanının operasyonları emniyetli biçimde sürdürülmelidir. Bu yönetimde yapay zekâ, havalimanlarına, özellikle artan yolcu akışlarında karşılaştığı güçlükleri kolaylaştırmada ve yoğun saatleri hafifletmede birçok avantaj yaratmaktadır.

Geleneksel havalimanlarında bulunan güvenlik sistemleri, zaman alıcı ve hatalara elverişli olan manuel sistemlerden ve insan yargısından oluşmaktaydı. Fakat yapay zekânın havalimanlarına entegre edilmesiyle, birçok süreç otomatik hale gelerek havalimanı güvenliğinde büyük değişiklikler yaratmıştır. Bu sayede verimlilik ve doğruluk artış göstermiştir. Tehlikeli ve yasaklı olan maddeleri taşıdığına yönelik şüpheli konumda bulunan yolcular için mutabakat sürecinde yapay zekânın kullanılması kritik

bir öneme sahiptir. Güvenlik Kontrol Noktalarına (SCP) yapay zekâ destekli sistemleri entegrasyonu sayesinde tehlikeli maddelerin tespit edilmesinde büyük gelişmeler sağlanmıştır. Seyahatlerin yoğunlaştığı ve güvenlik uyarılarının arttığı dönemlerde yapay zekâ, havacılık güvenliğinde rol oynayan görevlilerin iş yükünü hafifleterek performanslarını iyileştirmelerine destek olmuştur.

Havalimanı güvenliğinde yapay zekâ, ilk olarak bagaj taramalarında kullanılmaya başlamıştır. Yapay zekâ algoritmaları sayesinde silah ve patlayıcı gibi tehlikeli ve yasaklı nesneleri belirleyebilmek için bagajların x-ray görüntüleri incelenmektedir. X-ışını taraması, bagaj ve el çantalarının içeriğini analiz edebilmek amacıyla havalimanı güvenliğinde sıklıkla kullanılan teknolojilerden biridir. Yapay zekâ algoritmalarının tehlikeli ya da yasaklı olan eşyaları tespit edebilmek için eğitilmesi gerekir. Bu sayede yapay zekâ sistemleri hızlı ve doğru kararlar alabilmekte, güvenlik tarama süreçlerinin verimliliğini arttırabilmektedir. Aynı zamanda havalimanının güvenli bölgelerine giren kişilerin kimliklerini tespit edebilmek için yüz tanıma, parmak izi taramaları gibi biyometrik sistemler kullanılarak yapay zekâdan yararlanılmaktadır. Biyometrik tarama; parmak izleri, yüz hatları ve iris desenleri gibi bireylerin kendine has fiziksel özelliklerini kullanarak kimlik doğrulayan bir güvenlik yöntemidir. Geleneksel yöntemlerdeki gibi kaybolabilen ya da kopyalanabilen kimlik ya da biniş kartlarından daha güvenilirdir. İnsan müdahalesine duyulan gereksinimi azaltmakta ve bu sayede verimliliği artırmaktadır. Yolcuların işlem deneyimini kolaylaştırarak kuyrukları ve bekleme sürelerini azaltmaktadır. Bu sayede büyük yolcu hacminin yönetilmesi ve yolcu deneyiminin iyileştirilmesi kolaylaşmaktadır. Aynı zamanda fiziksel belgelere oluşan bağımlılığı azaltmaktadır. Havaalanı güvenliğinde yapay zekânın kullanımına yönelik yapılan ilk uygulamalardan biri Ağ Saldırısı Sistemi (NIDS) örnek olarak verilmektedir. Bu sistemle, ağ trafiği analiz edilmekte ve yetkisiz ya da zararlı olma potansiyeli olan ağ etkinliklerini belirlemek için kullanılmaktadır (Pik, 2024).

Yolcu deneyimini iyileştirme, operasyonel verimliliği yükseltme, kârlılığı ve uçuş güvenliğini artıma hedefi taşıyan akıllı havalimanları yapay zekâ (AI), nesnelerin interneti (IoT), büyük veri (Big Data) ve RFID gibi teknolojileri kullanmaktadır. Bu sayede akıllı check-in, self-servis biniş, otomatik bagaj takibi, sınır kontrolü ve mobil navigasyon gibi faaliyetler sunarak birçok sürecin sorunsuz ilerlemesini sağlamaktadır. Fakat bu uygulamaları gerçekleştirmek için sağlanacak entegrasyonun yüksek maliyetli olması, kısıtlı alan sunması ve bilgi güvenliğini yaratması gibi stratejik zorlukların aşılması gerekmektedir. Aynı zamanda uzman personelin de yapay zekâ entegrasyonu konusunda eğitim alması ve paydaşların hepsiyle birlikte bu

değişime karşı olumlu zihniyete sahip olması gerekmektedir. Bu zorlukların aşılması ve yeni teknoloji sistemlerinin benimsenmesiyle havalimanları rekabette avantajlı konuma geçebilmekte, yolculara daha da kişiselleştirilmiş bir seyahat tecrübesi sunabilmekte ve yolcular için güven dolu bir ortam meydana getirebilmektedir (Makela, 2024).

### 3. Vaka Analizi: Singapur Changi Havalimanı'nın Yapay Zekâ Entegrasyonu

Singapur'daki Changi bölgesinde yer alan Singapur Changi Havalimanı, uluslararası havalimanlarından biridir. Şehir merkezine neredeyse 20 km uzaklıkta ve doğu kısmında yer almaktadır. Asya bölgesinin en yoğun havalimanlarından biri olan Singapur Changi Havalimanı, yıl içerisinde milyonlarca yolcu ağırlamaktadır. Havalimanı, modern ve kullanıcı dostu tasarımları olan dört ana terminal binasının içerisinde yer alan alışveriş merkezleri, restoranlar, oteller, spa ve sağlık merkezleri, dinlenme alanları, sergi alanları gibi çok çeşitli kullanım alanları ve imkânlarıyla müşteri memnuniyeti, hizmet kalitesi ve terminal dizaynı ile havacılık sektöründe uluslararası çapta öne çıkmaktadır. Bu sayede birçok ödül alarak dünyanın en iyi havalimanlarından biri olarak benimsenmektedir. Singapur Changi Havalimanı'nın bu derece öne çıkmasında etkili olan faktörlerden biri yolcu kapasitesinin hızla genişlemesidir. 1970'li yılların ortalarında yıllık toplam yolcu kapasitesinin 30 milyon olması öngörülmüştür. Fakat yöneticilerin havalimanının potansiyelinin ülkenin boyutunu da aşacak derecede olduğunu tahmin etmesiyle havalimanı, çok daha fazla yolcuya hizmet sunabilmek amacıyla Singapur'un doğu ucunda tasarlanmıştır. Bu stratejik hamlenin etkilerinin olumlu olduğu sonucuna yolcu kapasitesinin 2004 yılında 30 milyona, 2010 yılında 40 milyona ve 2012 yılında 50 milyona ulaşmasıyla varılmıştır. Öyle ki 2012'de tahmin edilenden çok daha fazla yolcu kapasitesine erişmesi ile genişletme faaliyetlerine yönelmiş ve bu amaçla sürdürülebilirlik odaklı bir bölüm olarak Jewel bölümünü bünyesine eklemiştir. Bu derece çarpıcı bir büyüme, Singapur'un cazibeli gelişimi ve küresel çapta önemli bir havacılık merkezi olarak konumlandırma başarısında bir kanıt olarak görülmektedir. Öyle ki Skytrax tarafından tam 12. Defa dünyanın en iyi havalimanı olarak seçilmiştir (Demirci, Doğan, & Eroğlu, 2023).

#### 3.1. Singapur Changi Havalimanı'nın Stratejik Konumu

Singapur Changi Havalimanı, klasik hub&spoke dinamiklerine örnek olarak verilen önemli bir transit merkezidir. 1981 yılında Terminal 1 açılarak hizmete başlasa da yüksek kaliteli hizmeti ve operasyonel verimliliği sayesinde kapasite aşım problemlerini yönetebilmek amacıyla



Terminal 2 açılmıştır. Daha sonra hava trafiğinin artmasıyla ve serbest hava politikalarıyla Güneydoğu Asya Bölgesi'ndeki ana transit merkezi konumunu güçlendirmek için Terminal 3 ve ardından Terminal 4 açılmıştır. Singapur Changi Havalimanı'nın bu derece önemli bir konuma sahip olması ve Liberal hava politikaları ve son derece kaliteli tesislerinin/hizmetlerinin bulunması sayesinde Qantas ve Emirates gibi yabancı havayolları, uzun menzilli uçuşlarında mola noktası olarak Singapur Changi Havalimanı'nda ikincil üsler kurmuşlardır. Havaalanı servisi, MRT raylı sistem, halk otobüsleri, taksiler, terminaller dışındaki özel araçlar, tur otobüsleri gibi türlü türlü ulaşım imkânları ile yolcular erişim konusunda sıkıntı yaşamamaktadırlar (Tang, 2015).

Singapur Changi Havalimanı'nın başarılı bir konumda olmasının bir diğer sebebi havalimanı tesislerine yönelik sürekli eklemeler ve iyileştirmeler yapılmasıdır. Buna örnek olarak Jewel Changi Havalimanı kısmında sunduğu 500'ü aşkın perakende mağazası ve 260 farklı yemek seçeneğiyle diğer havalimanlarını geride bırakması verilebilmektedir. Singapur Changi Havalimanı yolculara sadece bir havalimanı olarak kendini konumlandırmakla kalmamakta aynı zamanda bir cazibe merkezi işlevi gördüğü, deneyim sağlayıcısı olarak öne çıkartmaktadır. Kuala Lumpur Uluslararası Havalimanı ile rekabet halinde olan Singapur Changi Havalimanı Asya Bölgesi'ni dünyanın geri kalan kısmına bağlayan iki önemli hub merkezidir. Singapur Changi Havalimanı Asya Pasifik Bölgesi'nin yanı sıra Avrupa ve Okyanusya Bölgesi için de önem arz eden bağlantılara sahiptir. Düşük maliyetli havacılık Singapur Changi Havalimanı'nın bulunduğu bölge olan Güneydoğu Asya pazarında kilit faktörlerden biri olduğundan, havalimanının premium hizmetlerle dengeleme kabiliyeti havalimanını havacılığın düşük maliyetli dinamiklerinde üst noktalara taşımaktadır (Carrier, 2024).

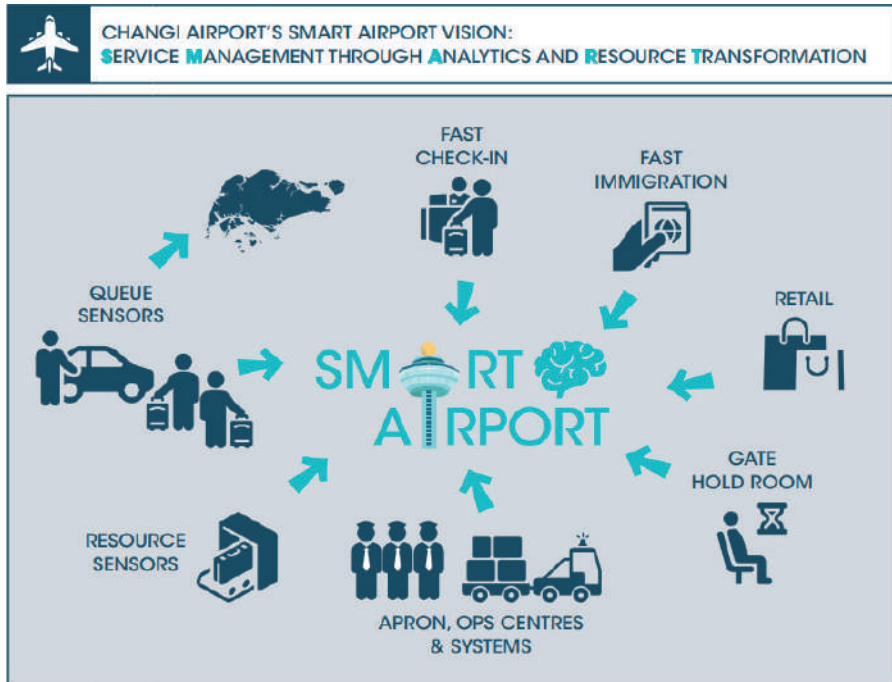
Singapur Changi Havalimanı'nın 2024-2025 Mali Yılı raporlarına göre havalimanı 69,4 milyon yolcu trafiği kaydetmiş, Asya-Pasifik Bölgesi'nde en hızlı iyileşme sergileyen ve 170 şehirle olan bağlantısına 6 havayolu ve 20 şehir bağlantısı daha ekleyerek genişleme gösteren bir performans sergilemiştir. Cazibeli bir aktarma merkezi olmaj için Singapur Havayolları ve STB ile iş birliği gerçekleştirerek özel seyahat paketleri sunmuş ve bu bağlamda Changi'nin kargo merkezi rolü de güçlenmiştir. Bir önceki yıla nazaran %11'lik artışla iki milyon tonu aşkın hava kargosu taşımış ve 10. Kez lider olarak konumunu korumuştur. Bu, uluslararası alanda tanınmasını pekiştirmiştir. Bu başarısını daha da artırmak için Changi Nexus Obe gibi yeni altyapı tesisleri açmış ve Kamyon Yuva Tahsis Sistemi (TDBS) ile dijital dönüşümünü hızlandırmıştır (Changi Airport Group, 2025).



### 3.2. Singapur Changi Havalimanı'nın Dijital Stratejisi: Akıllı Havalimanı

Singapur Changi Havalimanı sunduğu hizmetlerin verimli, emniyetli ve kesintisiz olması ile övgüyle karşılanan bir havalimanıdır. Bu başarısını, müşteri odaklı olmasına ve mükemmel hizmet anlayışına borçludur. Aynı zamanda arka planda kullandığı gelişmiş teknolojileri sorunsuz biçimde uygulamasının da etkisi bulunmaktadır. Bu teknoloji etkinleştirme çerçevesi, Singapur Changi Havalimanı'nın Akıllı Havalimanı vizyonunu oluşturmaktadır. Bu vizyon çerçevesinde; sensörlerden veri füzyonundan, veri analizinden ve yapay zekâdan faydalanarak sahip olduğu sistemleri ve yeteneklerini geri bildirim döngüleri biçiminde düzenleyerek ve kullanıcı odaklı tasarımları kullanarak müşteri deneyimlerini iyileştirmeyi ve operasyonel verimliliği artırmayı amaçlayarak faaliyetler uygulamaktadır. Havalimanında algılama ve ağ altyapısını, veri yönetimi altyapısını, veri analizini ve Yapay Zekâ (YZ) ve Makine Öğrenimi (ML) kapasitesini uygulama hedefiyle ilerlerken, iş gücünde makine öğreniminden yararlanmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç sayesinde kurumsal olarak yapay zekâ konusunda sürekli gelişim halindedir (Lee & Miller, 2019).

*Görsel 1: Singapur Changi Havalimanı "Akıllı Havalimanı" Vizyonu: Analitik ve Kaynak Dönüşümü Yoluyla Hizmet Yönetimi*



*Kaynak: (Lee & Miller, 2019)*

Görsel 1, Singapur Changi Havalimanı'nın temel bileşenlerinin neler olduğunu ve sürecin nasıl işlediğini göstermektedir. Akıllı Havalimanı Konsepti, veri toplama noktaları olan Kuyruk Sensörleri ve Kaynak Sensörlerinden temin edilen bilgileri merkeze yani Akıllı Havalimanı'na aktararak Hızlı Check-in, Hızlı Göç İşlemleri (Pasaport Kontrolü), Perakende, Bekleme Alanı ve Apron, Operasyon Merkezleri ve Sistemler gibi hizmetlerin ve operasyonların tamamını analitik temelli dönüştürmeyi amaçlamaktadır (Lee & Miller, 2019).

### **3.3. Singapur Changi Havalimanı'nın Operasyonel Faaliyetlerinde Yapay Zekâ Uygulamaları: Hava Tarafından Terminale**

Singapur Changi Havalimanı'nın en büyük önceliklerinden biri operasyonel mükemmelliktir. Bunun için güvenli, emniyetli ve sorunsuz bir havalimanı ortamı sunmaya çabalamaktadır. Bu yüzden Singapur Changi Havalimanı, Havaalanı Acil Durum Hizmetleri (AES)'in kilit operasyonel faaliyetlerini yerine getirme yeteneklerini güçlendirmeye çalışmıştır. Dolayısıyla Havaalanı Acil Durum Hizmetleri (AES)'in arama ve kurtarma, operasyonel güncellemeler ve teknoloji bazlı iyileştirmelerdeki etkinlik düzeyini daha da artırmak amacıyla iki güncel teknolojiyi faaliyete geçirmiştir. Bunlar dahil edilmiş bir gözetim sistemi ve akıllı termal takiptir. Gelişmiş bir görüntüleme sistemi sayesinde hava kontrolörlerinin (ATC) tamamına güncel bir radar, gözlem sistemi ve veri toplama kabiliyeti kazandırdı. Pistleri operasyonel faaliyetlerin en önemli noktası olarak ele alan Changi Havalimanı Grubu, bu konuyla ilgili olarak Pist Güvenliği Koalisyonu kurarak operasyonel aksamaları ve kazaları azaltmak için erken tespit, alarm sistemleri gibi faaliyetleri hayata geçirmiştir. Özellikle Changi Havalimanı'nda yer alan 1. Pistin operasyonel açıdan güvenilirliğini sağlamak için asfaltın, çitlerin, tesislerin ve altyapının kapsanacağı şekilde yenileme çalıştırmaları gerçekleştirmiştir. Ek olarak, onarımlara zamanında müdahale edebilmek için kaldırım verilerinin tamamının merkezi bir dijital depoya aktarılabilceği bir kaldırım yönetim sistemi kurmuştur (Changi Airport Group, 2025).

Yırtık lastik, pil, bozuk para vb. gibi pistte yer alan ve Yabancı Madde Kalıntıları (FOD) olarak adlandırılan küçük eşyalar, uçaklarda büyük zararlara ve ölümcül kazalara ortam hazırlayabilmektedir. Singapur Changi Havalimanı da bu maddeleri denetleyebilmek için görsel analiz kullanmaktadır. Başlangıçta yetersiz kalan bu sistemi zamanla geliştirerek Makine Öğrenme aracılığıyla video analize kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede operasyondaki personelin görev yükü ve gereksiz yere pist kapatılması durumu azalmıştır. Video Analitiği sadece FOD tespiti ve denetiminde

kullanılmayıp aynı zamanda güvenlik tarama sistemlerinde de kullanılmıştır. Uçuş programlarını ve uçuş kapasitesi gibi verilerini özelleştirerek kuyruk uzunluklarında yapılan doğru tahminlerle personel ihtiyacı yönetimi de başarıyla gerçekleşmiştir. Ek olarak, video analitiği sistemi yerde bırakılan bagajların tehlike durumunun tespiti için de kullanılmaktadır (Lee & Miller, 2019).

Changi Havalimanı, pistlerdeki yabancı cisimleri (FOD) tespit etmek amacıyla, iFerret 2.0 isimli otomatikleştirilmiş FOD denetim sistemini geliştirmiştir. %95'ten fazla tespit düzeyiyle Singapur Changi Havalimanı'nın pist operasyonlarını güvence altına almaya ve hava tarafındaki operasyonlarının verimliliğini artırmaya yardımcı olmuştur (Changi Airport Group, 2023).

*Görsel 2: Yabancı Cisim (FOD) Tespitinde Kullanılan iFerret Uygulaması*



*Kaynak: (Changi Airport Group, 2023)*

Üst düzey operasyonel mükemmelliği sürdürmek için yapılan faaliyetlerden bir diğeri, bagaj konveyör kayışının amortismanını ve bagaj hasarını azaltmayı desteklemek için yapay zekâ destekli yeni nesil robotik çim biçme ekipmanlarıdır. Kötü hava koşullarına dayanıklı, arıza süresini azaltacak ve kapsama alanını daha da genişletecek şekilde iyileştirmeler yapılarak çalışanların en az gözetim ile aynı anda çok daha fazla çalışmayı yönetmesine imkân sağlamıştır. Bu sayede Changi Havaalanı Grubu, daha hızlı harekete geçerek operasyonel verimliliğini artırmıştır. Ek olarak, havalimanı dönüşüm sürecini başarıyla yönetebilmek için “Havalimanı 360” diye isimlendirdiği güncel bir konsept geliştirmiştir. Uçuş kalkışlarında muhtemel gecikme

tahminleri yapmaya, ilgili cisimleri tespit etmeye, vahşi yaşamı yönetmeye ve pist enkazlarını (FOD) belirlemeye odaklanarak yapay zekâ ve bilgisayarlı görmenin desteğiyle “Aircraft 360” sistemi başlatılmıştır. Başta Terminal 2 ve Terminal 3’te uygulamaya geçecek, ardından terminallerin tamamında ve pistlerde uygulanacaktır. Bu sayede havalimanında tüm durumlar izlenebilecek, sorunlar öngörülebilecek ve aksamalar önenebilecektir. İnsan faktörü üretkenliğini daha da artırmak amacıyla da otonom tabanlı taşıma araçlarıyla çalışmıştır (Changi Airport Group, 2025).

*Görsel 3: Yeni Nesil Robotik Çim Biçme Makineleri*



*Kaynak: (Changi Airport Group, 2025)*

Havacılık teknolojisi alanında uzmanlaşmış bir teknolojisi sağlayıcı olan SITA Lab ile dört saati aşkın uçuş sürelerinin tahmini uçuş varış saatlerini öngörecektir bir prototip geliştirmiştir. Makine öğrenimi modelinden faydalanarak uçak tekerleklerinin yerde olmadığı zamanı doğru biçimde hesaplamak için tarihsel veriler ve gerçek zamanlı uçuş verileri kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda %95 oranında bir doğrulukla varış saatleri tahmin edilebilir düzeye gelmiştir. Yapılan doğru tahminlerle personel planlaması ve görevlendirmesi kolaylaşmaktadır. Yolcuların varış yolculuklarının işleme noktalarında kaynak arzı ve talebi arasında meydana gelen uyumsuzlukların yönetilmesi daha rahat olmaktadır. Bu sayede kuyruk oluşumları engellenir, hizmet personelleri etkili kullanılır ve verimlilik artar (Lee & Miller, 2019).

Operasyonel verimliliği ve işlevselliği devam ettirmek amacıyla Dijital, Veri ve Analitik (DDA) Ekibi yeni teknoloji destekli girişimler yaparak 20’yi aşkın yeni dijital ürün ortaya çıkarttı. Operasyonel verimliliği, bagaj işleme

verimliliğini ve yuvarlak nesne algılama ve azaltılmış bagaj kayıp seviyesini gösteren “Changi Bilişsel Kargo Merkezi” bu ürünlerden biridir. Tarama ve Takip için Mobil Uygulama (MAST) sayesinde bagaj işleme verimliliği iyileştirilirken; Yuvarlak Nesne ve Bagaj İndüksiyon Bildiricisi (ROBIN) sayesinde check-in esnasında standart olmayan büyüklükteki bagajlar tespit edilerek hasar ve kayıplar azaltılmıştır. Aynı zamanda Kurumsal Veri Platformu’nu daha da güçlü kılmak için yapılan “Proje Keystone” da bu örneklerden biri olarak verilmektedir. Ödeme ağ geçitleri, müşteri ilişkileri yönetimi sistemi ve envanter yönetim sistemi gibi sistemleri kapsayan “Shop@Changi” tüccar portalı da piyasaya sürülmüştür (Changi Airport Group, 2025).

*Görsel 4: Bagaj İşleme Verimliliğini Artıran Tarama ve İzleme Uygulaması*



*Kaynak: (Changi Airport Group, 2025)*

Özellikle ışık seviyesinin düşük olduğu ya da hava koşullarının kötü olduğu zamanlarda, hava sahası bakımını iyileştirmek amacıyla artırılmış gerçeklik teknolojilerinden faydalanılmıştır. Artırılmış Yeraltı Hizmetleri Görselleştiricisi aracılığıyla, bakım personeli, yeraltı varlıkları konusunda ilgili görsel katmanları görüntüleyerek, yer işaretleri doğrultusunda gerçek zamanlı konumlarını santimetre oranında belirleyebilmektedir. Böylece zamandan tasarruf yaratmaktadır (Changi Airport Group, 2023).

Hava sahasında görev yapan personelin güvenli ve kontrollü bir alanda etkin biçimde eğitim alabilmesi için sanal gerçeklik (VR) teknolojisi kullanılmaktadır. Kullanılan sürüş simülatörüyle sürücüler sergiledikleri performansları yönetme ve çeşitli senaryolarla başa çıkabilme fırsatına



erişmiştir. Bunun yanı sıra, Yolcu Yükleme Köprüsü (PLB) simülatörü de geliştirilmiştir. Bu simülatör sayesinde Yolcu Yükleme Köprüsü operatörleri, standart operasyon prosedürlerini gerçekleştirmekte ve pratik yapabilmek için çevre şartlarını da göz önünde bulundurabilmektedir. Aynı zamanda pratik yapma fırsatını artırmak isteyen operatörler için yeni eğitim modüllerini tekrarlamak amacıyla da Yolcu Yükleme Köprüsü (PLB) simülatörü kullanılabilmektedir. Bu sayede istisna olarak gerçekleşen senaryolara da hazırlıklı olmak için ortam hazırlanmaktadır (Changi Airport Group, 2020). Operatörler güvenli bir ortamda etkili bir eğitim almaktadırlar.

*Görsel 5: Yolcu Yükleme Köprüsü (PLB) Simülatörü*



*Kaynak: (Changi Airport Group, 2020)*

### **3.4. Singapur Changi Havalimanı'nda Yolcu Odaklı Yapay Zekâ Uygulamaları: Kişiselleştirme ve Hizmet Akışı**

Yaşanan teknolojik gelişmeler, hizmet sektöründe dönüştürücü bir ole oynayarak rekabette avantaj elde etmek işletmelerin yenilikçi teknolojilere adapte olmasına ortam hazırlamıştır. Self Servis Teknolojisi (SST) ve temassız teknolojiler başta olmak üzere, çoğu gelişme operasyonel verimliliği artırmış ve kişilerarası etkileşime duyulan gereksinimi azaltarak hizmet sunulma şeklini baştan sona değiştirmiştir. Son yıllarda meydana gelen salgın hastalıklar, güvenliği sağlama ve ekonomik faaliyetleri sürdürme zorunluluğu yüzünden temassız hizmetlerin diğer sektörlerde olduğu gibi havacılık sektöründe de benimsenme çabası hız kazanmıştır. Self servis check-in kioskları yolcuların check-in ve koltuk onaylama işlemlerini otomatik olarak

yapabildiği havalimanı altyapısında etkili sistemlerdir. Bu sistemlerden Singapur Changi Havalimanı da faydalanmaktadır. Öyle ki 2030'lu yıllarda faaliyetlerini gerçekleştirmeyi planladığı Terminal 5 (T5)'te kullanarak, Hızlı ve Sorunsuz Seyahat (FAST) geliştirmiş ve bu sayede %100 temassız olmasını hedeflemiştir. Bu gayesi Terminal 5'in otomatik bir terminal olması hedefiyle paraleldir (Kim, Ying, & Ng, 2025).

Singapur Changi Havalimanı'nda müşterilerle kurulan ilişkilerin birçok çeşidi olsa da sürecin başından sonuna dek self servisler kullanılmaktadır. Havalimanı'nın kullandığı otomatikleştirilmiş Hızlı ve Sorunsuz Seyahat (FAST) Sistemi ile yolcuların sorun yaşamadan check-in yapabilmesine, bagajlarını teslim edebilmesine ve göçmenlikten geçerek biniş kapısına ulaşabilmelerine ortam hazırlanmıştır. Buna ek olarak havalimanı müşteri ilişkileri adına Changi Havalimanı Büyüme Girişimi'ni (CAGI) yürütmektedir. Bu sayede havalimanına olan trafik bağlantısını artırmak amacıyla havayolu müşterileriyle iş birliği yapmayı planlamıştır. Bu plan doğrultusunda müşteriler, iş büyümesini devam ettirmek için desteklenir, uzun mesafeli bağlantıların yapılandırılması için havayollarına yardımcı olurlar. Yükselen havacılık ücretlerini dengeleyebilmek adına da indirimler sunan bir programdır (Chutipongdech & Vongsaroj, 2022).

*Görsel 6: Otomatikleştirilmiş Hızlı ve Sorunsuz Seyahat (FAST) Sistemi*



*Kaynak: (Chutipongdech & Vongsaroj, 2022)*

**Tablo 1: Otomatikleştirilmiş Hızlı ve Sorunsuz Seyahat (FAST) Sistemi Süreci**

|         |                                                           |
|---------|-----------------------------------------------------------|
| 1.Aşama | Otomatik Check-in Kioskları                               |
| 2.Aşama | Self-Servis Bagaj Bırakma                                 |
| 3.Aşama | Biyometrik Kimlik Doğrulama                               |
| 4.Aşama | Otomatik Pasaport Kontrolü / Otomatik Göçmenlik İşlemleri |
| 5.Aşama | Geliştirilmiş Güvenlik Taraması                           |
| 6.Aşama | Otomatik Biniş Kapıları                                   |

*Kaynak: (Bertran, 2024).*

Havalimanlarının başarıya ulaşmasında etkili olan birçok faktör bulunmaktadır. Yolcu işlem faaliyetleri de bu faktörlerin başında gelmekte ve yolcu memnuniyetini yüksek oranda etkilemektedir. Yolcuların ve bagajlarının uçağa kayıt işlemlerini kapsayan yolcu işlem faaliyetleri havalimanlarına check-in açısından oldukça büyük kolaylık ve rahatlık yaratmaktadır. Yolcuların check-in yüzünden zaman kaybı yaşamak istememeleri nedeniyle, bu işlemlerin gerçekleşme süresi önem arz etmektedir. Bu yüzden bu konu kritik konulardan biridir. Son yıllarda geleneksel check-in yerine online check-in sistemleri ve kısa mesaj hizmetleriyle gerçekleşen check-in sistemleri gibi birçok yeni check-in sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerden en güncel olanı, Self Servis Check-in (SSCI) Kiosklarıdır. Singapur Changi Havalimanı'nda da self check-in kiosklarının sayısı 2008 yılı itibariyle artmaya başlamıştır. SSCI kabinleri sayesinde yolcular check-in gişesindeki hizmetin aynısını alırlar. Sırasıyla yolcular önce e-biletlerini tararlar ve kişisel bilgilerini girerler. Ardından istekleri doğrultusunda koltuk seçimi yapar ve bagajlarını teslim ederler. Bu işlemler sayesinde geleneksel check-in gişelerinde karşı karşıya kalınan kuyrukla büyük ölçüde azalmıştır (Lee, Ng, Lv, & Taczoon, 2014).

2024-2025 döneminde Yeni Gümrük Konsepti aracılığıyla, Gümrük ve Kontrol Noktaları Otoritesi (ICA) Changi Havalimanı'ndaki sınır geçişindeki süreçlerin dönüşüme uğramasına ortam hazırlamıştır. Dört terminalde de %100 otomatikleştirilmiş sınır geçişi uygulanarak yolcuların hepsinin ikamet durumları fark etmeksizin ve ön kayıt gerektirmeksizin otomatik geçiş şeritlerini kullanmasını sağlamıştır. 2024 yılının ağustos ayı itibari ile önce Singapur vatandaşları ardından Singapur'da daimi ikamet edenler için geçerli olmak üzere sınır geçişlerinde yüz ve iris biyometrisinden faydalanılarak pasaportsuz geçiş aşamalı olarak faaliyete geçirilmiştir. Bu sayede Singapur, tamamen otomatikleştirilmiş sınır geçişini uygulayan dünyadaki ilk ülke



olmuştur. Yeni göçmenlik şeritlerinin faaliyete geçirilmesiyle, Singapur Changi Havalimanı, Gümrük ve Kontrol Noktaları Otoritesi ve diğer ortakların iş birliği yapması için bir ortam yaratılmıştır. Buna örnek olarak biyometrik sistemlerin ve otomatik şeritlerin kurulumunun operasyonel hataları gidermek için ortaklaşa bir planlamayı gerektirmesi verilebilir. Sınır görevlileri de havalimanının sunduğu hizmetlerin kalitesini korumak amacıyla yeni sistemlerin kullanımına yönelik eğitilmiştir. Bu girişimler sayesinde yolcu başına geçirilen süre %40 seviyesinde azaltılarak sınır geçiş deneyiminin etkinliği ve verimliliği artırılmıştır (Changi Airport Group, 2025).

*Görsel 7: Singapur Changi Havalimanı'ndaki Yeni Otomatik Göçmenlik Şeritleri*



*Kaynak: (Changi Airport Group, 2025)*

Yolcuların deneyimini artırmak için havalimanı, teknolojiye özen göstermektedir. Yol trafiğinde artış yaşandıkça kullanılan kaynakları optimum seviyeye ulaştırmak ve hizmet mükemmelliğini daha fazla yaşatmak için yenilikler yapmaktadır. 2024 yılının Nisan ayında Changi uygulamasındaki Bagaj Takipçisi 2.0 işlevinin sürümünü yükselterek kişiselleştirilmiş bir deneyim sunma çabası buna örnek olarak verilebilir. Bagaj Takipçisi 2.0 tahmin modeli, uçuş kalkışından önce yolcuların bagajlarının ne zaman ulaşacağını tahmin etmek üzere makine öğrenimi kullanılarak geliştirilen bir sistemdir. Bu sayede yolcular bagajlarının birden çok adımını izleyebilir, tahmini teslim süresini takip edebilir ve bagaj yükleme bilgilerini temin edebilirler. Böylece havalimanındaki aksaklıklar ve bagajlardan kaynaklı vakalar azalmaktadır. Yine aynı yılın Kasım ayında

ise yapay zekâ destekli (AI) chatbot AskMAX'ı faaliyete geçirmiştir. Chatbot sorgulara daha akıllı ve daha bağlamsal cevaplar vermek üzere tasarlanmıştır. Kullanıcıların deneyimleri sonucunda olumlu dönüş yaptıkları chatbot'a, havalimanının web sitesinden, uygulamasından ve mesajlaşma platformlarından erişilebilmektedir (Changi Airport Group, 2025).

Müşteri ilişkilerinde öne çıkan bir diğer faaliyetler ise Facebook Messenger ve iChangi Mobil Uygulaması desteğiyle otomatik kişisel yardım almaktır. Yapay zekâ teknolojisi kullanılarak IBM Watson ve Accenture tarafından MAX isimli sanal bir asistan geliştirilmiştir. Bu sanal asistan, sıklıkla sorulan soruları hızla yanıtlar ve yolculara uçuşlar, yemekler, havalimanı etkinlikleri ve kayıp eşya süreci konusunda temel bilgileri sunmaktadır. MAX'in yanı sıra, yolcuların alışveriş deneyimlerini artırmak amacıyla geliştirilen bir diğer sanal asistan, Pepper isimli kişisel otomatik asistandır (Chutipongdech & Vongsaroj, 2022).

*Görsel 8: Kişisel Otomatik Asistan "Pepper"*



*Kaynak: (Chutipongdech & Vongsaroj, 2022)*

Yolcuların bagaj elleçleme süreçlerini daha kolay hale getirmek için Leo ve Kate isimli bagaj robotları geliştirilmiştir. Bunu sağlayabilmek için seyahat endüstrisinde bilgi teknolojileri konusunda öne çıkan SITA'dan faydalanılmıştır. Singapur Changi Havalimanı'nda da navigasyon yapabilen ve yol üzerindeki engelleri belirleyebilen bağımsız bagaj arabası LEO

kullanılmaktadır. En fazla 32 kilo ağırlığında bavul taşıyarak yolcuların personel desteği olmaksızın bagajlarını tartmasına ve etiketlemesine yardımcı olmaktadır. Bu sayede bagaj teslimat sürecindeki verimliliği artırmaktadır (Dias, 2024).

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Yapay Zekâ teknolojileri, her sektörde olduğu gibi havacılık sektöründe de köklü bir değişikliğe ortam hazırlayarak havalimanlarını etkilemiş, geleneksel havalimanı işletmeciliğini iyileştirerek Akıllı Havalimanı vizyonuna taşımıştır. Bu bölümde ele alınan Singapur Changi Havalimanı'nın Akıllı Havalimanı vizyonu kapsamındaki uygulamaları, yapay zekânın operasyonel verimliliğinin yanı sıra yolcu deneyimini ve kaynak yönetimini de nasıl optimum hale getirdiğini göstermektedir. Singapur Changi Havalimanı'nın özellikle hizmet yönetimi, kaynak tahsisi ve süreç otomasyonundaki stratejisinde veri analitiğini odak noktasına alması, küresel çapta bir başarı örneği olmaktadır. Kuyruk sensörlerinden aprondaki otonom araç kullanımına dek kapsayıcı bir şekilde olan bu entegrasyon, yapay zekânın karmaşık havalimanı yapısındaki gerçek potansiyelini ortaya çıkarmaktadır.

Türkiye ve Türkiye gibi gelişmekte olan havalimanı işletmeleri için Singapur Changi Havalimanı'ndan çıkarılacak önemli dersler bulunmaktadır. Gelecek yıllarda havalimanı işletmelerinin atacağı stratejik adımlarda veri odaklı karar alma mekanizmalarını kurmaları bu derslerden biri olarak verilebilir. Güvenlik, check-in, bagaj gibi havalimanı faaliyetlerinin neredeyse her aşamasında tahmine dayalı analitik sistemlerin odak noktasında yer alması ve alınacak anlık kararlarda kullanılması süreçleri kolaylaştıracaktır. Yapay zekâ ve otomasyon sistemlerini tasarlayacak, bakımını gerçekleştirecek ve yönetiminde rol oynayacak veri bilimci ve yapay zekâ mühendislerinin işletmede yer alması ve buna yönelik çalışanların dijital okuryazarlık eğitiminin teşvik edilmesi bir ihtiyaç haline geleceğinden buna yönelik faaliyetler yürütülmelidir. Çıkarılacak bir diğer ders yolcu deneyimleri üzerinedir. Yolcu deneyimleri kritik bir noktada olduğundan dolayı yapay zekâ sistemleri aracılığıyla bireysel ihtiyaç ve tercihlerin analiz edilerek kişiselleştirilmiş hizmet deneyimleri sunulması havalimanları için pozitif bir etki yaratacaktır. Son olarak ise sürdürülebilirliğin önem kazandığı günümüzde ve bir zorunluluk halini alacağı gelecekte, apron ve yer hizmetlerinde enerji verimliliğini artıracak ve iş gücünden kaynaklı ortaya çıkan maliyetleri azaltacak veya optimize edecek otonom araç ve robotik sistemlerin yaygınlaştırılması gerekecektir.

Özetle, Akıllı Havalimanları küresel rekabette ve artan yolcu taleplerini karşılamada öne çıkan bir gereklilik haline gelmiştir. Singapur Changi Havalimanı örneği, bu dönüşüm için bir yol haritası çizerken, yapay zekâyâ yönelik yapılan stratejik yatırımların operasyonel mükemmelliğin yanı sıra ulusal rekabet gücünü artırmada da kritik bir unsur olduğunu göstermektedir.

## Kaynakça

- Abdelghany, E. S., Farghaly, M. B., Almalki, M. M., Sarhan, H. H., & Essa, M. (2023). Machine Learning And Iot Trends For Intelligent Prediction Of Aircraft Wing Anti-Icing System Temperature. *Aerospace*, 10(8), S. 676. DOI:10.3390/aerospace10080676
- Abubakar, M., Erioluwa, O., Teyei, M., & Al-Turjman, F. (2022). AI Application In The Aviation Sector. *International Conference On Artificial Intelligence Of Things And Crowdsensing (Aiotcs)*, (S. 52-55). DOI:10.1109/AIoTcs58181.2022.00015
- Ahmed, W. (2025). Artificial Intelligence In Aviation: A Review Of Machine Learning And Deep Learning Applications For Enhanced Safety And Security. *Premier Journal Of Artificial Intelligence*, 3, S. 1-8. DOI: 10.70389/PJAI.100013
- Aktepe, Ş., & Karakulle, İ. (2023). İşletmelerde Rekabet Üstünlüğü Sağlamada Yapay Zeka Kullanımı: E-Ticaret Sitelerinin Mobil Uygulamalar Örneği. *Fenerbahçe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), S. 30-46. DOI: <https://doi.org/10.58620/fbujoss.1287967>
- Anagnostopoulou, A., Tolikas, D., Spyrou, E., Akac, A., & Kappatos, V. (2024). The Analysis And Ai Simulation Of Passenger Flows In An Airport Terminal: A Decision-Making Tool. *Sustainability*, 16(3), S. 1346. DOI:10.3390/su16031346
- Arslan, K. (2020). Eğitimde Yapay Zeka Ve Uygulamaları. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 11(1), S. 71-88.
- Atalay, M., & Çelik, E. (2017). Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ Ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları-Artificial Intelligence And Machine Learning Applications In Big Data Analysis. *Mehmet Akif Ersoy University Journal Of Social Sciences Institute*, 9(22), S. 155-172. DOI: <https://doi.org/10.20875/makusobed.309727>
- Babu, V. S., & Banana, K. (2024). A Study On Narrow Artificial Intelligence—An Overview. *International Journal Of Engineering Science And Advanced Technology (Ijesat)*, 24(4), S. 210-219.
- Başar, R. (2023). Dijital Dönüşümde Güncel Yaklaşımlar: Türkiye Ve Dünya Örnekleri. İ. Ç. Tekin İçinde, *Yönetim Bilişim Sistemleri, İşletmelerde Dijital Dönüşüm Yönetimi* (S. 125-163). Gaziantep: Özgür Yayınları.
- Benli, E., & Şenel, G. (2020). Yapay Zeka Ve Haksız Fiil Hukuku. *Asbii Hukuk Fakültesi Dergisi*, 2(2), S. 296-336. DOI: <https://doi.org/10.47136/asbuhfd.713190>
- Bertran, C. R. (2024). Flying Towards The Future: Understanding The Smart Airport Concept, Focusing On Changi Singapore Airport And A Proposal Implementation For Barcelona's Airport. Autònoma De Barcelona Üniversitesi, Mühendislik Bölümü, Lisans Bitirme Çalışması.

- Boden, M. A. (2014). Creativity And Artificial Intelligence: A Contradiction In Terms. *The Philosophy Of Creativity: New Essays*, S. 24-246. DOI: 10.1016/s0004-3702(98)00055-1
- Bouyakoub, S., Belkhir, A., Guebli, W., & Bouyakoub, F. M. (2017). Smart Airport: An Iot-Based Airport Management System. *Icfinds '17: Proceedings Of The International Conference On Future Networks And Distributed Systems*, 45, (S. 1-7). DOI: <https://doi.org/10.1145/3102304.3105572>
- Carrier, V. (2024). Beyond Transit: The Role Of Changi Airport In Singaporean Society. McGill University, Department Of Geography, Thesis.
- Changi Airport Group. (2020). *Resilience & Adaptability, Annual Report, 2019/2020*. <https://www.changiairport.com/en/corporate/our-media-hub/publications/reports.html>
- Changi Airport Group. (2023). *A Year Of Recovery, Annual Report 2022-2023*. <https://www.changiairport.com/en/corporate/our-media-hub/publications/reports.html>
- Changi Airport Group. (2025). *Beyond Boundaries Transforming Tomorrow, Annual Report 2024/2025*. Changi Airport Group. <https://www.changiairport.com/en/corporate/our-media-hub/publications/reports.html>
- Chutiphongdech, T., & Vongsaroj, R. (2022). The Success Behind The World's Best Airport: The Rise Of The Changi. *Asia Social Issues*, 15(1), S. 1-15. DOI: 10.48048/asi.2022.250905
- Coşkun, F., & Gülleroğlu, H. D. (2021). Yapay Zekanın Tarih İçindeki Gelişimi Ve Eğitimde. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 54(3), S. 947-966. DOI: <https://doi.org/10.30964/auebfd.916220>
- Çankaya, D. (2020). Havacılıkta Yaygınlaşan Yapay Zeka, API Ve Büyük Veri Temelli Çözümler. *Academic Perspective Procedia*, 3(1), S. 465-473. DOI: <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.01.93>
- Çopur, T., Yıldırım, Ü. B., & Durmaz, V. (2023). Şehir Havalimanı Modeli İle Değişen Gelir Yapılarının İçerik Analizi Yöntemiyle İncelenmesi. *Kent Akademisi*, 16(1), S. 612-631. DOI: <https://doi.org/10.35674/kent.1206405>
- Degas, A., Islam, M. R., Hurter, C., Barua, S., Rahman, H., Poudel, M., . . . Arico, P. (2022). A Survey On Artificial Intelligence (AI) And Explainable AI In Air Traffic Management: Current Trends And Development With Future Research Trajectory. *Applied Sciences*, 12(3), S. 1295. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12031295>
- Demirci, S., Doğan, T. G., & Eroğlu, E. (2023). Havalimanlarında Sürdürülebilirlik: Singapur Changi Havalimanı. *Düzce Üniversitesi Süs Ve Tıbbi Bitkiler Botanik Bahçesi Dergisi*, 2(1), S. 14-26.
- Dias, C. A. (2024). Smart Airports: Analysing Digital Transformation And Technological Advancements In Aviation, The Cases Of Ponta Delgada



- And Beijing Capital International Airports. Beira Interior Üniversitesi, Havacılık Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Doğru, A., Bouarfa, S., Arizar, R., & Aydoğan, R. (2020). Using Convolutional Neural Networks To Automate aircraft Maintenance Visual Inspection. *Aerospace*, 7(12), S. 171. DOI:10.20944/preprints202011.0527.v1
- Easa. (2020). *Artificial Intelligence Roadmap, A Human-Centric Approach To AI In Aviation*. Germany: Easa.
- Feigenbaum, A. F., & Feldman, J. (1963). *Computers And Thought*. Usa: Mcgraw-Hill.
- Gao, Z., & Mavris, D. N. (2022). Statistics And Machine Learning In Aviation Environmental Impact Analysis: A Survey Of Recent Progress. *Aerospace*, 9(12), S. 750. DOI: <https://doi.org/10.3390/aerospace9120750>
- Jiang, Y., Tran, T. H., & Williams, L. (2023). Machine Learning And Mixed Reality For Smart Aviation: Applications And Challenges. *Journal Of Air Transport Management*, 111, S. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102437>
- Kaplan, A., & Haenlein, M. (2018). Siri, Siri, In My Hand: Who's The Fairest In The Land? On The Interpretations, Illustrations, And Implications Of Artificial Intelligence. *Business Horizons*, 62(1), S. 15-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004>
- Khadonova, S. V., Ufimtsev, A. V., & Dymkova, S. S. (2020). "Digital Smart Airport" System Based On Innovative Navigation And Information Technologies. *International Conference On Engineering Management Of Communication And Technology (Emctech)*. Vienna, Austria.
- Khan, Z. U., Nasim, B., & Rasheed, Z. (2025). Generative AI-Based Predictive Maintenance In Aviation: A Systematic Literature Review. *Ceas Aeronautical Journal*, 16, S. 537–555. DOI:10.21203/rs.3.rs-5277729/v1
- Kim, B., Ying, V. C., & Ng, R. S. (2025). The Future Of Airports: How Travelers' Positive Perceptions Drive The Acceptance Of 100% Contactless Smart Airports. *International Journal Of Tourism Research*, 27(3). DOI:10.1002/jtr.70047
- Kováčiková, K., Novák, A., Kováčiková, M., & Sedláčková, A. N. (2022). Smart Parking As A Part Of Smart Airport Concept. *11th International Conference On Air Transport – Inair 2022, Returning To The Skies* (S. 70–77). Transportation Research Procedia, 65. DOI:10.1016/j.trpro.2022.11.009
- Krieger, J. B., Boudier, F., Wibral, M., & Almeida, R. J. (2024). A Systematic Literature Review On Risk Perception Of Artificial Narrow Intelligence. *Journal Of Risk Research*, S. 1-19. DOI:10.1080/13669877.2024.2350725



- Kumar, M. (2022). Optimized Application Of Artificial İntelligence (AI) İn Aviation Market. *International Journal Of Recent Research Aspects*, 9(4), S. 1-7.
- Kurçer, D., & Civelek, M. (2023). Yapay Zeka Ve Turizm: Akıllı Sistemler. *Türizmde Değişim Ve Yeni Arayışlar* (S. 191-208). İçinde Özgür Yayınları.
- Kutlusoy, Z. (2019). Felsefe Açısından Yapay Zeka. G. Telli İçinde, *Yapay Zeka Ve Gelecek* (S. 25-43). İstanbul: Doğu Kitabevi.
- Lee, C. M., Ng, Y., Lv, Y., & Taezoon, P. (2014). Empirical Analysis Of A Self-Service Check-In Implementation İn Singapore Changi Airport. *International Journal Of Engineering Business Management*, 6(1), S. 33-44. DOI:10.5772/56962
- Lee, S., & Miller, S. M. (2019). AI Gets Real At Singapore's Changi Airport (Part 1). *Asian Management Insights (Singapore Management University)*, 6(1), S. 10-19.
- Lin, M. (2023). Civil Aviation Satellite Navigation Integrity Monitoring With Deep Learning. *Advances İn Computer And Communication*, 4, S. 260-264. DOI:10.26855/acc.2023.08.008
- Madeira, T., Melicio, R., Valerio, D., & Santos, L. (2021). Machine Learning And Natural Language Processing For Prediction Of Human Factors İn Aviation Incident Reports. *Aerospace*, 8(2), S. 47. DOI:10.3390/aerospace8020047
- Makela, M. (2024). Artificial İntelligence To Benefit The Passenger Experience At The Airport. Haaga-Helia University Of Applied Sciences, Master's Degree Thesis.
- Mccarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A Proposal For The Dartmouth Summer Research Project On Artificial Intelligence, 27(4). *AI Magazine*, S. 12-14. DOI: <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
- Mcculloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A Logical Calculus Of The Ideas İmmanent İn Nervous Activity. *The Bulletin Of Mathematical Biophysics*, 5(4), S. 115-133. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02478259>
- Medvedev, A., Alomar, I., & Augustyn, S. (2017). Innovation İn Airport Design. *Aviation*, 21(1), S. 23-28. DOI:10.3846/16487788.2017.1303542
- Monika, Verma, S., & Kumar, P. (2023). Generic Deep-Learning-Based Time Series Models For Aviation Accident Analysis And Forecasting. *Sn Computer Science*, 5(32). DOI:10.1007/s42979-023-02353-4
- Nabiyev, V. V. (2012). *Yapay Zeka: İnsan-Bilgisayar Etkileşimi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Özden, M. (2024). Endüstri 4.0 Akıllı Havalimanı Yapay Zekâ Uygulamalarının İş Görenler Üzerine Etkilerine Yönelik Bir Araştırma. *Ufuk Üniversite-*

- si Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(25), S. 20-43. DOI: <https://doi.org/10.58635/ufuksbedergi.1490475>
- Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay Sinir Ağları Ve Yapay Zekâ'ya Genel Bir Bakış. *Takvim-İ Vekayi*, 6(2), S. 25-36.
- Pamuk, M. M. (2025). Akıllı Havalimanları: Havalimanı Yolcu Hizmetlerinde Yolcuların Ortak Kullanımlı Self-Servis (Cuss) Kullanma Deneyimine Yaklaşımları. *Journal Of Intelligent Transportation Systems And Applications*, 8(2), S. 88-111. DOI:10.51513/jitsa.1711965
- Pik, E. (2024). Airport Security: The Impact Of AI On Safety, Efficiency, And The Passenger Experience. *Journal Of Transportation Security*, 17(1). DOI:10.1007/s12198-024-00276-6
- Poltextlab. (2025). Typologies Of Artificial Intelligence: Narrow, General, And Superintelligent Systems: <https://Airevolution.Poltextlab.Com/Typologies-Of-Artificial-Intelligence-Narrow-General-And-Superintelligent-Systems/> Adresinden Alındı
- Qi, Q., & Pan, Z. (2018). Internet Of Things, Internet, Big Data And Airport Services Make Smart Airport Based On O2o And Humanism. *2nd International Conference On Mechanical, Electronic, Control And Automation Engineering (Mecae 2018)* (S. 134-137). China: Advances In Engineering Research, 149. DOI: 10.2991/mecae-18.2018.30
- Rajapaksha, A., & Jayasuriya, N. (2020). Smart Airport: A Review On Future Of The Airport Operation. *Global Journal Of Management And Business Research: A Administration And Management*, 20(3). DOI:10.34257/GJMBRAVOL20IS3PG25
- Rauch, R., & Hen, C. (2024). From Bricks To Bytes: AI-Based Airport Digital Transformation İn Practice. *Journal Of Airport Management*, 19(1), S. 83-95. DOI:10.69554/ESKQ1493
- Ray, A. T., Bhat, A. P., White, R. T., Nguyen, V. M., Fischer, O. J., & Mavris, D. N. (2023). Examining The Potential Of Generative Language Models For Aviation Safety Analysis: Case Study And Insights Using The Aviation Safety Reporting System (ASRS). *Aerospace*, 10(9), S. 770. DOI:10.3390/aerospace10090770
- Sabatová, J., Galanda, J., Adamčík, F., Jezný, M., & Šulej, R. (2016). Modern Trends İn Airport Self Check-İn Kiosks. *Mad - Magazine Of Aviation Development*, 4(20), S. 10. DOI:10.14311/MAD.2016.20.02
- Sariel, S. (2017). Günümüzde Yapay Zeka. M. Karaca İçinde, *İnsanlaşan Makinalar Ve Yapay Zeka* (S. 21-43). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Yayını.
- Schultz, D. P., & Ellen-Schultz, S. (2007). *Modern Psikoloji Tarihi*. İstanbul: Kaknüs Yayınları.

- Singil, N. (2022). Yapay Zekâ Ve İnsan Hakları. *Public And Private International Law Bulletin*, 42(1), S. 121-158. DOI:10.26650/ppil.2022.42.1.970856
- Şahin, Y. (2024). Havacılık Ve Yapay Zekâ Alanındaki Çalışmaların Bibliyometrik Analizi (Bibliometric Analysis Of Studies In The Field Of Aviation And Artificial Intelligence). *International Journal Of Social Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 11(110), S. 1637-1648. DOI:10.5281/zenodo.13732160
- Şalvarlı, M. S., & Kayışkan, D. (2022). Pazarlama Alanında Yapay Zekanın Gelişen Rolüne Genel Bir Bakış. *İzmir Yönetim Dergisi*, 2(2), S. 106-115.
- Tang, C. (2015). Exploring The Potential Of Hub Airports And Airlines To Convert Stopover Passengers Into Stayover Visitors: Evidence From Singapore. Griffith University, Department Of Tourism, Sport And Hotel Management, Phd Thesis.
- Tekin, A., & Demirel, O. (2024). Yapay Zekâ Teknolojileri İle İstihdam Ve Verimlilik Arasındaki İlişki. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 22(Özel Sayı: Endüstri 4.0 Ve Dijitalleşmenin Sosyal Bilimlerde Yansımaları), S. 1585-1618. DOI: <https://doi.org/10.35408/comuybd.1485233>
- Torens, C., Gupta, S., Roy, N., Sprockhoff, J., & Durak, U. (2024). From Operational Design Domain To Runtime Monitoring Of Ai-Based Aviation Systems. *2024 Aaaa Dacc/Ieee 43rd Digital Avionics Systems Conference (Dasc)*. San Diego, Ca, Usa: Ieee.
- Turing, A. M. (1950). Computing Machinery And Intelligence. *Mind*, 49, S. 433-460.
- Wei, M., Yang, S., Wu, W., & Sun, B. (2024). A Multi-Objective Fuzzy Optimization Model For Multi-Type Aircraft Flight Scheduling Problem. *Transport*, 39(4), S. 313-322. DOI:10.3846/transport.2024.20536
- Whitby, B. (2005). *Yapay Zekâ: Yeni Başlayanlar İçin Kılavuz*. İstanbul: İletişim Yayınları.
- Wu, Y. C., & Feng, J. W. (2018). Development And Application Of Artificial Neural Network. *Wireless Personal Communications*, 102(5), S. 1645-1656. DOI:10.1007/s11277-017-5224-x
- Yıldız, S., Aydemir, O., Memiş, A., & Varlı, S. (2022). A Turnaround Control System To Automatically Detect And Monitor The Time Stamps Of Ground Service Actions In Airports: A Deep Learning And Computer Vision Based Approach. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, 114(1). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105032>
- Yüksel, F. Ş., Kalan, O., & Işık, M. (2022). Havaalanlarında Dijital Dönüşüm Risklerinin Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(3), S. 781-791. DOI: <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1190433>



## Havayolu Rekabetinde Yapay Zekâ: Strateji Mi, Etkinleştirici Mi?

Mustafa Altıntaş<sup>1</sup>

### Özet

Bu çalışma, havayolu endüstrisinde yapay zekânın (YZ) stratejik konumunu incelemekte ve YZ'nin bağımsız bir strateji mi yoksa maliyet liderliği, farklılaşma ve çeviklik/dayanıklılık gibi mevcut stratejileri etkinleştiren bir kapasite mi olduğunu tartışmaktadır. Yüksek sabit maliyetler, sıkı regülasyonlar ve talep oynaklığıyla tanımlanan sektörde rekabet avantajı yaratmanın zorlukları dikkate alındığında, YZ'nin operasyonel verimlilik, müşteri deneyimi, sürdürülebilirlik ve kriz yönetimi alanlarında sunduğu katkılar kritik öneme sahiptir. Ancak fiyatlandırma gibi yüksek etki alanlarında açıklanabilirlik, veri maliyetleri ve rekabet hukuku kaygıları nedeniyle benimsemenin sınırlı kaldığı görülmektedir. Çalışma, literatürdeki boşluğu kapatarak sekiz proposisyon aracılığıyla kavramsal bir çerçeve geliştirmekte; böylece YZ'yi strateji yerine stratejiyi güçlendiren bir etkinleştirici kapasite olarak konumlandırmaktadır. Literatüre kuramsal katkı sunan bu yaklaşım, yönetsel açıdan ise veri yönetimi, MLOps entegrasyonu ve etik denetime dayalı bir yol haritası önererek havayolu yöneticilerine uygulamaya dönük rehberlik sağlamaktadır.

### 1. Giriş

Havayolu taşımacılığı; yüksek sabit maliyetler, sıkı regülasyonlar, talep oynaklığı ve dar kâr marjlarıyla tanımlanan, veri yoğun karar süreçleri gerektiren karmaşık bir endüstridir. Yakıt, filo ve altyapı giderlerinin ölçek ve ağ tasarımıyla doğrudan ilişkisi, havayollarının rekabet gücünü belirleyen kritik unsurlar arasında yer almaktadır (Doganis, 2019; IATA, 2025). Bu nedenle, sektörde rekabet avantajı yaratmak yalnızca maliyet düşürme değil;

1 Dr. Öğr. Üyesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Gazipaşa Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Antalya, Türkiye, mustafaaltintas90@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8843-2128

aynı zamanda talep belirsizliklerini yönetme, müşteri deneyimini geliştirme ve sürdürülebilirlik hedeflerini gerçekleştirme kapasitesine bağlıdır.

Bu bağlamda yapay zekâ (YZ), yalnızca otomasyon sağlayan ya da tahmin doğruluğunu artıran bir teknik araç olmaktan öteye geçerek; operasyonel verimlilik, emniyet, müşteri deneyimi ve sürdürülebilirlik eksenlerinde stratejik bir kapasiteye dönüşmektedir. Son yıllarda yayımlanan sistematik derlemeler, havacılıkta YZ'nin bakım ve kesinti yönetimi, rota ve yakıt optimizasyonu, karar destek ve risk azaltma alanlarındaki etkilerini kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır (Demir vd., 2024; Tafur vd., 2025).

Dijitalleşme ve veri bolluğu, özellikle son on yılda havayolları, havalimanları ve hava trafik yönetiminde ileri analitik sistemlerin yaygınlaşmasını hızlandırmıştır. COVID-19 pandemisi ise bu dönüşümün kırılma noktası olmuştur. Pandemi döneminde talep tahmini, kapasite planlaması ve sağlık protokollerinde veri güdümlü yaklaşımlar yaygınlaşırken; eş zamanlı olarak sürdürülebilirlik baskıları da artmıştır. Bu dönemde emisyonların azaltılması, yakıt verimliliği ve enerji yönetimi kurumsal öncelikler arasına girmiş, YZ tabanlı rota ve çizelgeleme optimizasyonu ile öngörücü bakım uygulamaları bu hedeflere katkı sağlayan çözüm setinin merkezine yerleşmiştir (Sun vd., 2022; Czerny vd., 2021; IATA, 2024).

Tarihsel açıdan bakıldığında, deregülasyon sonrası dönemde düşük maliyetli taşıyıcılar (LCC) ile tam hizmet sunan ağ taşıyıcılarının (FSNC) ayrışması; ağ tasarımı, kapasite tahsisi ve gelir yönetiminde ileri analitik ve karar desteğini zorunlu kılmıştır. 2010'lu yıllardan itibaren hızla yaygınlaşan YZ uygulamaları, pandemi sonrası belirsizlik ortamında talep tahmini, kesinti yönetimi ve müşteri etkileşimi gibi alanlarda vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir (Doganis, 2019; Czerny vd., 2021). Bununla birlikte, YZ'nin rekabet üstünlüğü yaratması yalnızca algoritma başarımıyla sınırlı değildir. Avantajın sürdürülebilirliği, veri varlıklarına erişim, model-iş süreçleri entegrasyonu (MLOps), model risk/etik yönetim ve organizasyonel değişim yönetimi gibi kurumsal ve teknik koşulların eşzamanlı olgunlaşmasına bağlıdır (IATA, 2023; Demir vd., 2024). Özellikle fiyatlandırma gibi kritik alanlarda veri maliyetleri, çok kanallı dağıtımın karmaşıklığı ve regülasyon gereklilikleri, YZ'nin tam ölçekli uygulanmasını sınırlandırmakta ve işletmeleri kısmen sezgisel yöntemlere yöneltmektedir.

Bu çerçevede, mevcut literatürde YZ'nin havayolu endüstrisindeki stratejik konumunun bütüncül biçimde ele alınmadığı; daha çok teknik uygulama örnekleri veya operasyonel çıktılar üzerinden değerlendirildiği görülmektedir. Bu durum, YZ'nin rekabet stratejilerindeki rolüne ilişkin teorik ve yönetsel bir boşluğa işaret etmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, YZ'nin havayolu endüstrisinde stratejik konumunu tartışmak; YZ'nin bir "strateji" olup olmadığı ya da mevcut stratejileri "etkinleştiren" bir kapasite mi olduğu sorusuna yanıt aramaktır. Çalışma, YZ'nin stratejik değerini verimlilik, farklılaştırma ve çeviklik/dayanıklılık boyutlarında özetlemekte; ayrıca veri yönetişimi ve performans göstergelerine dayalı bir yol haritası önermektedir.

Çalışmanın katkısı, literatür düzeyinde YZ'yi operasyonel bir araçtan ziyade stratejik bir etkinleştirici kapasite olarak konumlandıran kavramsal bir çerçeve sunması; uygulama düzeyinde ise havayolu yöneticilerine YZ yatırımlarını operasyonel, ticari, müşteri deneyimi ve sürdürülebilirlik göstergeleriyle ilişkilendirecek sistematik bir değerlendirme modeli önermesidir (Tafur vd., 2025; IATA, 2024).

## 2. Deregölasyon Sonrası Endüstri Yapısı ve Yapay Zekâ Uygulama Eğilimleri

### 2.1. Deregölasyon, Ayrışan İş Modelleri ve Yoğunlaşma

ABD'de 1978 yılında uygulanan deregölasyon, fiyat rekabetini keskinleştirmiş, ağ yapılarını dönüştürmüş ve pazara girişleri kolaylaştırmıştır. Legacy taşıyıcılar hub-and-spoke modeliyle merkez ağlarını geliştirirken, düşük maliyetli taşıyıcılar (LCC) nokta-nokta operasyon ve sadeleştirilmiş hizmetlerle farklı bir değer önerisine yönelmiştir (Gillen ve Morrison, 2005; Anderson vd., 2005). Deregölasyon sonrası birleşme ve devralmalar yoğunlaşmayı artırmış, özellikle hub havalimanlarında ölçek ve ağ etkilerini güçlendirmiştir (Gillen ve Morrison 2005). LCC'lerin yükselişi, maliyet odaklı stratejilerin ve verimlilik temelli hizmet tasarımıının yaygınlaşmasına yol açmıştır (Anderson vd., 2005).

Bu süreç, deregölasyonun yalnızca rekabeti artırmakla kalmadığını; havayolu işletmelerinin stratejik yönelimlerini de köklü biçimde dönüştürdüğünü göstermektedir. Hub-and-spoke modelinin ölçek avantajları ile düşük maliyetli taşıyıcıların maliyet etkinliği odaklı yaklaşımı, sektörde farklı rekabet paradigmalarının oluşmasına zemin hazırlamış; günümüzde yapay zekâ gibi teknolojik araçların bu farklı stratejik yönelimleri destekleyen bir kapasite olarak önem kazanmasını mümkün kılmıştır.

### 2.2. YZ Benimsemesini Hızlandıran Koşullar ve Uygulama Örnekleri

2010'lu yıllardan itibaren artan veri hacmi, bilgi işlem gücü ve analitik yetkinlikler, YZ'nin operasyonel ve ticari kararlara entegrasyonunu



hızlandırmıştır. COVID-19 pandemisi, talep tahmini, kapasite planlaması, sağlık güvenliği ve kesinti yönetimi gibi alanlarda veri güdümlü yaklaşımların “meşruiyet eşiğini” aşmasına katkı sağlamıştır (Pérez-Campuzano vd., 2021). Yolcu deneyimi tarafında ise gecikme tahmini, müşteri hizmet otomasyonları ve biyometrik doğrulama uygulamaları giderek yaygınlaşmıştır (SITA, 2024; Hatipoğlu & Tosun, 2024). Aşağıda bu koşulları hızlandıran örnek olaylar gösterilmiştir.

### 2.2.1. American Airlines AI Destekli Rebooking Uygulaması

American Airlines, büyük çaplı operasyonel aksaklıklar sırasında yolcu deneyimini iyileştirmeyi amaçlayan yapay zekâ destekli yeniden rezervasyon (rebooking) sistemlerini hayata geçirmiştir.



Şekil 1: American Airlines – Uçaklar apron ve pistte beklerken (operasyonel yoğunluk)

Kaynak: View from the Wing (2025)

Örneğin 2025’te ABD doğu kıyısında meydana gelen şiddetli fırtınalar sırasında bu sistem, uygulama ve web sitesi üzerinden anlık bildirimler göndererek ve otomatik olarak alternatif uçuş seçeneklerini değerlendirerek binlerce yolcunun yeniden yerleştirilmesini sağlamıştır. Sistem; bağlantı kaçırma olasılığı, uçuş durumu, hava koşulları gibi faktörleri gerçek zamanlı veriyle analiz etmekte ve böylece çağrı merkezi yükünü azaltırken yeniden rezervasyon sürecinin süresini kısaltmakta, yolcu memnuniyetini artırmaktadır (OAG, 2025).

### 2.2.2. United Airlines: “Get Me Close” Programı ile Kesinti Yönetimi

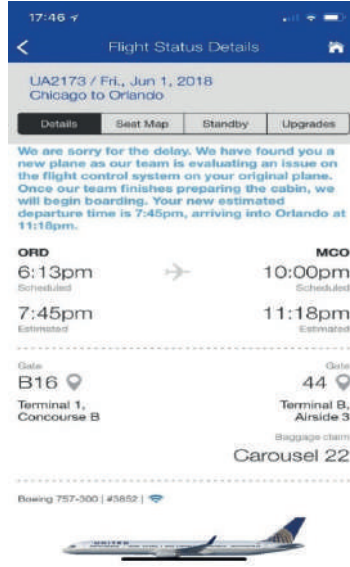
United Airlines, 2024 yılında devreye aldığı “Get Me Close” programı ile gecikme veya iptal gibi durumlarda yolculara yakın alternatif havalimanlarına yönlendirilme seçeneği sunmuştur. Bu uygulama, kesinti yönetiminde müşteri memnuniyetini artırmayı ve operasyonel esnekliği güçlendirmeyi amaçlayan yapay zekâ tabanlı yenilikçi bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 2: Get Me Close uygulama örneği

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Böylece şekil 2’de gösterildiği gibi; New York varışlı bir uçuşta ciddi gecikme yaşandığında yolcular Philadelphia gibi yakın noktalara otomatik olarak yeniden yönlendirilmiştir. Süreç boyunca bildirimlerin YZ destekli mekanizmalarla anlık olarak iletilmesi, çağrı merkezi yüklerini azaltmış ve yolcu memnuniyetini artırmıştır (Lardinois, 2024).



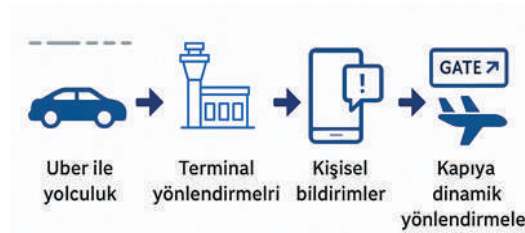
Şekil 3: Gecikme uygulama örneği

Kaynak: United Airlines. (2024). United app: Flight status and updates

Bu uygulama, kesinti yönetiminin reaktif müşteri hizmetlerinden proaktif ve veri güdümlü bir akışa dönüştürüldüğünü göstermektedir.

### 2.2.3. Delta Air Lines: Concierge ile Kişiselleştirilmiş, Çok-Modlu Deneyim

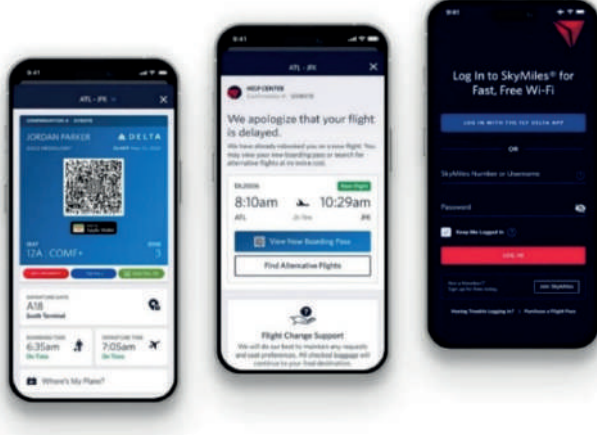
Delta, Fly Delta uygulamasına entegre ettiği Concierge hizmetiyle, evden havalimanına erişimden terminal içi yönlendirmelere kadar uçtan uca kişiselleştirilmiş bir yolculuk deneyimi sunmaktadır. Uber ve Joby iş birlikleri sayesinde çok-modlu taşımacılık, tek bir dijital akış üzerinden yönetilebilmektedir (Delta News Hub, 2025; IoT World Today, 2025; Brownlow, 2025).



Şekil 4: Uçtan uca çok modlu deneyim

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Vize/pasaport kontrolleri, hava durumu ve kapı değişiklikleri için kişisel bildirimler sağlanmış; bagaj teslim, lounge erişimi ve güvenlik kontrollerinde dinamik yönlendirmeler yapılmıştır (Delta News Hub, 2025).



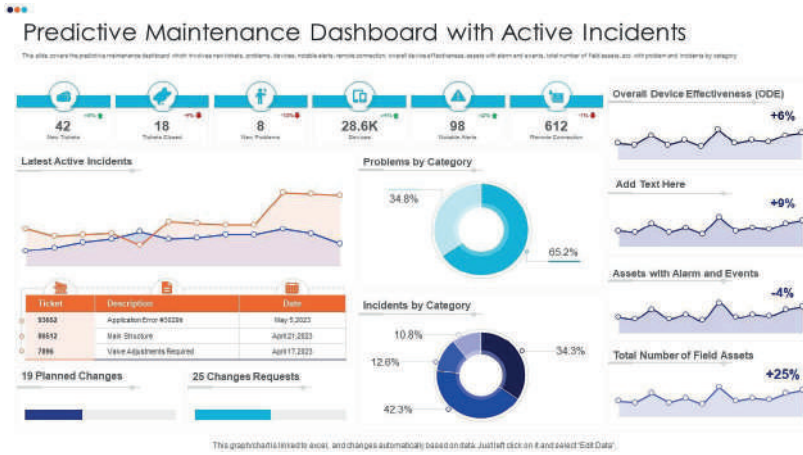
Şekil 5: Fly Delta uygulama ekranı

*Kaynak: Delta Air Lines. (2024). Fly Delta app [Mobile application screenshots]. Delta News Hub. <https://news.delta.com>*

Böylece çok-modlu ulaşım ve terminal akışı bütünleştirilmiş, deneyimin tutarlılığı ve farklılaştırma kapasitesi güçlendirilmiştir.

#### 2.2.4. Southwest Airlines: Dil Modeli ile Prediktif Bakım

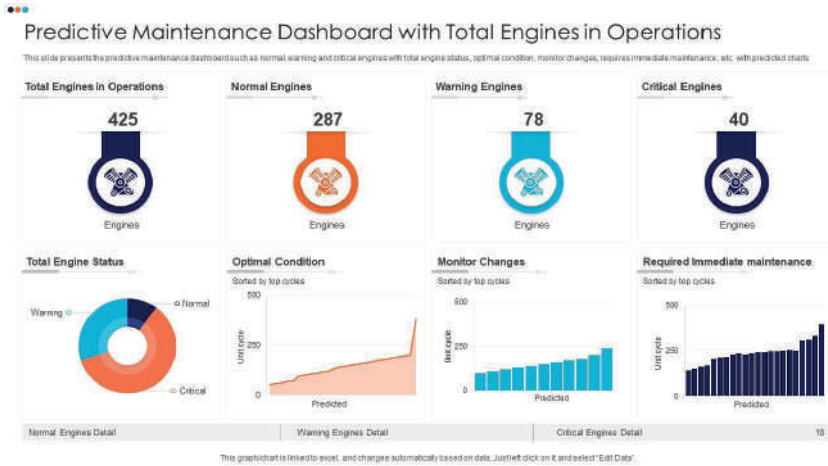
Southwest, AIXI ile iş birliği yaparak dil modeli tabanlı bakım sistemleri geliştirmiştir. Altı yıllık bakım kayıtlarının işlenmesiyle teknisyen notları daha zengin problem tanımlarına ve ATA kodlarına dönüştürülmüş; veri kalitesi artmış ve plan dışı bakım ihtiyacı azalmıştır (Canaday, 2023; IFS Blog, 2023).



Şekil 6: Aktif olaylara göre öngörücü bakım

**Kaynak:** PresentationGo. (n.d.). Predictive maintenance dashboard with active incidents [Image]. Bing. <https://tse1.mm.bing.net/th/id/OIP.CP6zXOZWbVd0jWMMFe-TPQHhEK>

Sonuç olarak arızalar daha erken saptanmış, plan dışı kesintiler azalmış ve uçak kullanılabilirliği artmıştır (Canaday, 2023).



Şekil 7: Operasyonlarda toplam motorlarla öngörücü bakım panosu

**Kaynak:** PresentationGo. (n.d.). Predictive maintenance dashboard with total engines in operations [Image]. Bing. [https://tse4.mm.bing.net/th/id/OIP.W-IEI4CsqGe5l0dp\\_rWmgwHhEK](https://tse4.mm.bing.net/th/id/OIP.W-IEI4CsqGe5l0dp_rWmgwHhEK)

Bu girişim, YZ tabanlı dil modellerinin yalnızca müşteri hizmetlerinde değil, bakım ve mühendislik süreçlerinde de stratejik bir dönüştürücü unsur olduğunu göstermektedir.

### 2.2.5. Diğer Taşıyıcılar: Farklı Ölçeklerde Yaygınlaşan Uygulamalar

YZ uygulamaları yalnızca büyük küresel taşıyıcılara özgü kalmamış; orta ve küçük ölçekli havayollarında da farklı biçimlerde uygulanmıştır.



Şekil 8: Diğer taşıyıcıların yararlandığı YZ uygulama örnekleri

Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.

- **JetBlue**, PROS Revenue Management Advantage ile tahmin doğruluğunu ve analist verimliliğini artırmıştır (PROS, 2025).
- **Alaska Airlines**, AI tabanlı rota optimizasyonu ile yakıt tasarrufu ve emisyon düşüşü sağlamış; ayrıca “Odysee” programıyla çizelge optimizasyonunu geliştirmiştir (Alaska Airlines, 2024; Alaska Airlines & UP.Labs, 2024; Business Insider, 2024).
- **Spirit Airlines**, ağ planlamada darboğazları önceden belirlemek için SkySYM teknolojisini devreye almıştır (Spirit Airlines, 2023).
- **Frontier**, filo kullanımı ve ekip koordinasyonunu veri güdümlü sistemlerle senkronize etmiştir (CAE inc, 2023).

Bu örnekler, YZ'nin operasyonel verimlilikten müşteri deneyimine kadar geniş bir yelpazede değer ürettiğini ve farklı ölçeklerdeki havayolları için vazgeçilmez bir rekabet aracı haline geldiğini göstermektedir.

Deregülasyon sonrasında rekabetin yoğunlaştığı bu ortamda YZ'nin artık yalnızca bir destek aracı değil, stratejiyi mümkün kılan temel bir kapasiteye dönüştüğü gözlemlenmektedir. United örneğinde proaktif yeniden yönlendirme uygulamaları sayesinde kesinti yönetiminin büyük ölçüde otomatikleştirildiği ifade edilebilir. Delta'da çok-modlu entegrasyonun yolcu deneyimini daha da kişiselleştirdiği, Southwest'te ise dil modeli tabanlı bakım sistemleri ile operasyonel dayanıklılığın dikkate değer biçimde artırıldığı görülmektedir. Bu tabloya bakıldığında hem maliyetlerin hem de gecikmelerin azaldığı, aynı zamanda müşteri memnuniyetinin ve operasyonel güvenilirliğin kayda değer şekilde yükseldiği anlaşılmaktadır.

### 3. Küresel Yapay Zekâ Trendleri ve Teknolojik Gelişmeler

Son yıllarda literatür, yapay zekânın (YZ) havacılıkta emniyet, bakım-onarım, operasyonel verimlilik ve müşteri deneyimi alanlarında ölçülebilir katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır (Demir vd., 2024; Tafur vd., 2025). Sistematik derlemeler, özellikle gecikme tahmini, rota optimizasyonu ve filo verimliliği konularında makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) yöntemlerinin yaygın biçimde kullanıldığını göstermektedir. Örneğin, JAL Engineering'in federated öğrenme ile motor ömür (RUL) tahmininde gizlilik korumasını sağlarken planlama doğruluğunu artırdığı rapor edilmiştir (dotData, 2024; Barbosa vd., 2025). Ancak sektörün yüksek regülasyon ve güvenlik standartları, veri gizliliği ve açıklanabilirlik gereklilikleri, bu uygulamaların yaygınlaşmasını sınırlayan başlıca faktörlerdir (Lopes vd., 2025).

Havacılık endüstrisinde YZ uygulamalarının stratejik yoğunlaşma alanları Tablo 1'de özetlenmektedir.



Tablo 1: Kategorilerine göre havacılıkta YZ uygulamaları

| Kategori                                | YZ Uygulaması                                               | Ana Katkılar                                                                | Örnek Kaynaklar                                          |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Hava Trafik Yönetimi ve Optimizasyon    | Uçuş rotası planlama, gecikme tahmini, hava sahası yönetimi | Tıkanıklığın azaltılması, verimlilik artışı, gerçek zamanlı anomali tespiti | Soori vd. (2023); Dai (2024); Hurter vd. (2024)          |
|                                         | ATC karar desteği                                           | Çatışma çözümüne destek, hava sahası kapasitesinin yönetimi                 | Spatharis vd. (2023); Stanulov & Yassine (2024)          |
| Öngörücü Bakım ve Filo Optimizasyonu    | ML tabanlı arıza tespiti                                    | Plansız bakımın azaltılması, güvenilirlik artışı                            | Kashyap (2019); Merlo (2024); Meissner vd. (2021)        |
|                                         | Gerçek zamanlı bileşen izleme                               | Bakım zamanlamasının optimizasyonu, uçak ömrünün uzatılması                 | Karaoğlu vd. (2023); Kabashkin vd. (2023)                |
| Yolcu Deneyimi ve Kişiselleştirme       | Sohbet botları & sanal asistanlar                           | Müşteri hizmetlerinin otomasyonu, hızlı yanıt                               | Vincent vd. (2021); Geske vd. (2024)                     |
|                                         | Müşteri davranışı analitiği                                 | Kişiselleştirilmiş öneriler, dinamik fiyatlama                              | Jiang vd. (2023); Rady & Wahab (2023)                    |
|                                         | Biyometrik kimlik doğrulama                                 | Bekleme sürelerinin azaltılması, güvenlik artışı                            | Wang vd. (2023); Yang (2023)                             |
| Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği | Yakıt optimizasyonu & emisyon azaltımı                      | Yakıt tüketiminde azalma, yeşil operasyon                                   | Ramakrishnan vd. (2023); Filelis-Papadopoulos vd. (2024) |
|                                         | Havalimanı enerji yönetimi                                  | Enerji verimliliği, karbon ayak izinin düşürülmesi                          | Abubakar vd. (2022); Alharasees vd. (2024)               |
| Zorluklar ve Gelecek Perspektifleri     | Etik kaygılar                                               | Otonom uçuş güvenliği, yolcu kabulü                                         | Ziakkas vd. (2022); Ceken (2024)                         |
|                                         | Siber güvenlik & regülasyon                                 | Veri gizliliği riskleri, YZ yönetimi                                        | Wang vd. (2023); Yang (2023)                             |

Kaynak: Fondevila-Gascón vd., (2025).

Tablo 1, YZ'nin havacılıkta yalnızca destekleyici bir teknoloji olmadığını; operasyonel verimlilik, müşteri deneyimi, sürdürülebilirlik ve yönetim gibi alanlarda stratejik değer üreten bir unsur haline geldiğini ortaya koymaktadır.

Havacılıkta YZ'nin benimsenmesi, sektörün yüksek regülasyon ve güvenlik hassasiyetleri nedeniyle kademeli olarak ilerlemiştir. EASA'nın yayımladığı AI Roadmap 2.0 ve Concept Paper Issue 2 belgeleri, insan-merkezli bir yaklaşımı vurgulamakta ve makine öğrenimi tabanlı sistemlerin sertifikasyon süreçleri için yol haritaları sunmaktadır (EASA, 2023; EASA, 2024). Literatür ve endüstri raporları, dört temel yoğunlaşma alanını işaret etmektedir:

- **Emniyet ve kaza önleme:** FAA'nin ASIAs programı, uçuş operasyon verilerinin makine öğrenimi ile analiz edilerek anomali tespiti ve risk öngörüsü yapılmasına imkân tanımakta; böylece insan hatalarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır (FAA, 2021)
- **Talep ve kapasite yönetimi:** COVID-19 sonrası talep desenlerinin öngörülmesinde YZ tabanlı modeller, filo ve mürettebat planlamasında etkin rol oynamış; hava taşımacılığındaki toparlanma süreçlerini daha doğru projeksiyonlarla desteklemiştir (Gao 2022; Sun vd.,2022).
- **Müşteri deneyimi ve kişiselleştirme:** Havaalanlarında kullanılan sohbet robotları ve dijital asistanların, yolcu deneyiminde bağlamsal ve anlık hizmetler sunduğu; kabul edilebilirlik açısından ise güven ve yararlılık algısının belirleyici olduğu gösterilmiştir (Auer vd., 2024).
- **Sürdürülebilirlik:** Google ve American Airlines iş birliğiyle yürütülen saha denemeleri, YZ tabanlı rota optimizasyonunun *contrail* azaltımı yoluyla uçuşların iklim üzerindeki etkisini düşürebileceğini göstermiştir (Investopedia, 2023).

Bununla birlikte, yüksek veri ve hesaplama maliyetleri, kurum içi entegrasyon zorlukları ve açıklanabilirlik gerekliliği, YZ'nin birçok süreçte ihtiyatlı kullanımına yol açmaktadır. IATA (2024) raporu, YZ'nin büyük fırsatlar sunduğunu kabul etmekle birlikte, insan gözetimi ilkesinin vazgeçilmez olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle dinamik fiyatlandırma alanında, algoritmik sistemlerin rekabet hukuku açısından eşgüdüm riskini taşıdığı belirtilmektedir (OECD, 2017). Nitekim Delta'nın YZ tabanlı fiyatlandırma girişimleri, ABD'de düzenleyici ve siyasi çevrelerde tartışma yaratmış; şirket, kişisel veriye dayalı bireyselleştirilmiş fiyatlama uygulamadığını açıklamak zorunda kalmıştır (Reuters, 2025).

**Propozisyon P1.** Küresel YZ ilerlemeleri, havacılık sektöründe stratejik dönüşümü hızlandırmakta; ancak emniyet, regülasyon ve yönetim

gereklilikleri nedeniyle adaptasyon süreci kademeli ilerlemektedir (EASA, 2023; EASA, 2024).

**Propozisyon P2.** YZ; emniyet, talep yönetimi, müşteri deneyimi ve sürdürülebilirlik alanlarında değer üretmektedir. Buna karşın fiyatlandırmada, açıklanabilirlik ve rekabet hukuku kaygıları nedeniyle yaygın benimseme sınırlı kalmaktadır (IATA, 2024; OECD, 2017; Reuters, 2025).

#### 4. Yapay Zekâ'nın Havayolu Rekabet Stratejilerindeki Konumu

##### 4.1. Stratejik Çerçeve

Havayolu endüstrisi, yüksek sabit maliyetler, yoğun rekabet ve güçlü regülasyon nedeniyle kârlılık açısından hassastır (Paksoy vd., 2023). Porter'ın Beş Gücü, rekabet yapısını müşteriler, tedarikçiler, ikameler, yeni girişler ve sektör içi rekabet boyutlarıyla bütüncül olarak değerlendirmek için uygun bir çerçeve sunar (Porter, 1980). Geleneksel iş modelleri (FSNC, LCC, charter, bölgesel) bu çerçevede üç jenerik stratejiyi farklı kombinasyonlarla uygular: maliyet liderliği, farklılaşma ve odaklanma (Gillen ve Morrison, 2005). YZ/ML tabanlı karar destek ise rota ve bakım optimizasyonu ile kişiselleştirme yoluyla bu stratejileri işler hâle getirir; başka deyişle YZ, stratejinin “yerine geçen” değil, onu etkinleştiren bir kapasitedir (Brunton vd., 2021).

##### 4.2. Maliyet Liderliği: LCC Modelinde YZ'nin Rolü

LCC modeli; tek tip filo, sade ürün, yüksek koltuk yoğunluğu ve hızlı dönüşlerle maliyet liderliğine doğaldan uyumludur. Bu yapıda YZ'nin dört temel katkısı öne çıkar:

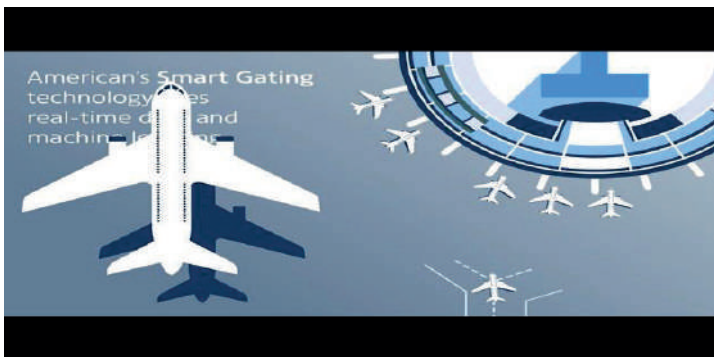
- **Öngörücü bakım (predictive maintenance).** RUL tahminleri ve NGAFID benzeri veri kümeleriyle arıza olasılıkları önceden belirlenir; plan dışı bakım azalır, kullanılabilirlik artar (Yang ve Desell, 2022).



Şekil 9: Öngörücü bakım ile plan dışı arıza giderilmesi

Kaynak: ToolSense. (n.d.). Why predictive maintenance in aviation can save lives. <https://toolsense.io/maintenance/why-predictive-maintenance-in-aviation-can-save-lives>

- **Akıllı kapı atama ve yer operasyon senkronizasyonu.** American Airlines'ın "Smart Gating" uygulaması DFW gibi hub'larda taksi süresini yaklaşık %20 azaltmış; yılda ~1,4 milyon galon yakıt ve ~13 bin metrik ton CO<sub>2</sub> kazanımı raporlanmıştır (American Airlines Newsroom, 2023).



Şekil 10: Akıllı Kapı ve Yer Senkronizasyonu

Kaynak: American Airlines. (2024), American Airlines Smart Gating [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=7aX0C1uXaJw>

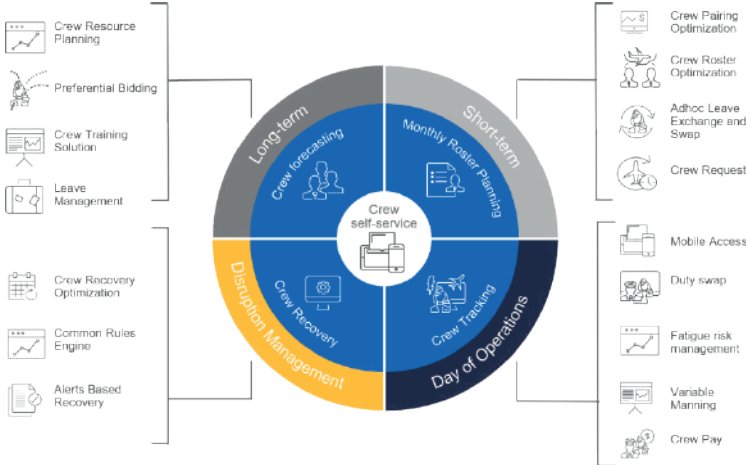
- **Yakıt ve rota optimizasyonu.** ML destekli rota seçimi meteoroloji ve hava sahası kısıtlarını gözeterek birim maliyetleri düşürür (Dassault Aviation, 2023).



Şekil 11: Yakıt-Rota optimizasyonu

Kaynak: Dassault Aviation. (2023)

- **Dinamik çizelgeleme ve filo/ekip planlama.** Yapay zekâ destekli planlama çözümleri filo rotasyonları ile ekip eşleşmelerini optimize ederek iş gücü verimliliği ve uçak kullanılabilirliğini artırır (CAE, 2025; Hasib vd., 2023).



Şekil 12: Ekip planlama süreci

Kaynak: CAE. (2025)

Bu uygulamalardan örneğin, American Airlines'ın Smart Gating uygulamasıyla Dallas Fort Worth (DFW) havalimanında uçuş başına taksi sürelerinde yaklaşık %20 azalma sağlanmış; yılda 1,4 milyon galon yakıt ve 13 metrik ton CO<sub>2</sub> tasarrufu raporlanmıştır (American Airlines Newsroom, 2023).



Şekil 13: Smart Gating uygulama sonuçları

Kaynak: American Airlines. (2023)

Benzer şekilde Southwest'ın AIXI iş birliğiyle geliştirdiği bakım dili modeli, prediktif bakım doğruluğunu artırmış ve uçak kullanılabilirliğini yükseltmiştir (Canaday, 2023).

**Propozisyon P3:** YZ, öngörücü bakım, yakıt optimizasyonu ve operasyonel senkronizasyon yoluyla maliyet liderliğini güçlendirmektedir.

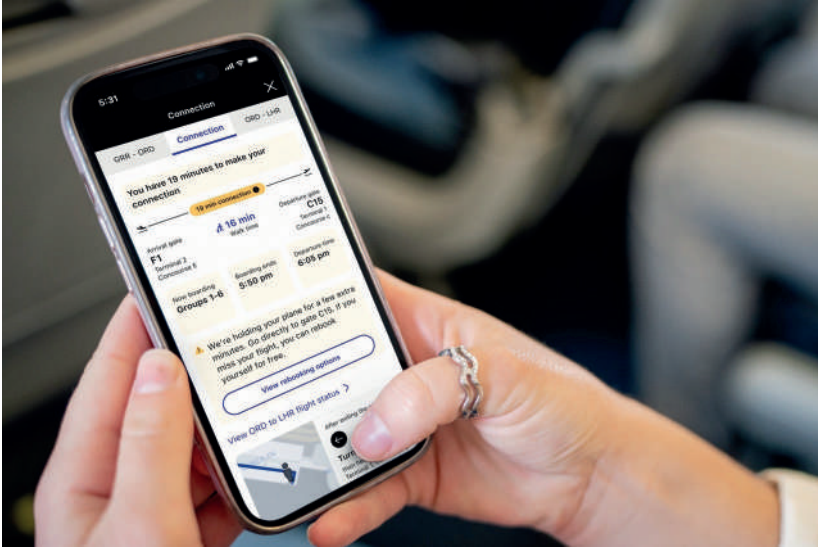
#### 4.3. Farklılaşma: FSNC ve İş Havacılığında Kişiselleştirilmiş Deneyim

Tam hizmet ağ taşıyıcıları (FSNC), çok sınıflı kabin düzeni ve kapsamlı yer-uçuş hizmetleriyle farklılaşmayı amaçlarken; LCC'ler maliyet avantajını öne çıkaran sadeleştirilmiş ürün tasarımı (Önen, 2016) ile rekabet ederek farklılaşmayı amaçlamaktadır. Yapay zekâ (YZ), bu farklılaşmayı üç ana eksenle derinleştirmektedir.

Birincisi, kişiselleştirilmiş teklifler ve bağlamsal fiyatlamadır. Modern havayolu perakendeciliğinde, IATA'nın *Dynamic Offers* ve *Modern Airline Retailing* çerçeveleri ile yolcuların seyahat bağlamına göre sürekli fiyatlama, dinamik paketleme ve kişiye özel ek hizmetlerin oluşturulması







*Şekil 16: United Airlines'ın ConnectionSaver uygulaması,*

*Kaynak: The Points Guy. (2025)*

Üçüncüsü, dijital concierge ve yolculuk zinciri entegrasyonudur. Delta Air Lines'ın *Delta Concierge* uygulaması, Uber ile karayolu taşımacılığını ve Joby Aviation ile eVTOL hava taksi çözümlerini bütünleştirerek evden havalimanına kadar uçtan uca deneyimi birleştirmeyi hedeflemektedir. Bu yaklaşım, özellikle New York ve Los Angeles gibi büyük şehirlerde premium müşteri segmentine hitap eden farklılaştırılmış bir değer önerisi sunmaktadır (Delta Air Lines, 2022, 2025; Joby Aviation, 2022).

İş havacılığı tarafında ise YZ, öngörücü bakım ve operasyon planlaması aracılığıyla yüksek hizmet sürekliliği ve operasyonel esneklik sağlamaktadır. NBAA'nın (2024a, 2024b) yayımlarında belirtildiği üzere, prediktif bakım sistemleri motor ve komponent ömrünü daha doğru tahmin ederek arıza risklerini azaltmakta; bu sayede hız, konfor ve esneklikten oluşan iş havacılığı değer zincirine katkıda bulunmaktadır.



*Şekil 17: Çok sınıflı kabin*

*Kaynak: TrulyClassy. (2023).*

United'in "Get Me Close" programı, gecikme durumlarında yolcuları yakın havalimanlarına veya alternatif güzergâhlara yönlendirerek müşteri deneyimini korumayı amaçlamaktadır (Lardinois, 2024). Delta'nın Concierge hizmeti ise Uber ve Joby ile çok modlu entegrasyonu güçlendirerek uçtan uca yolcu deneyimini evden havaalanına ve terminal içi süreçlere kadar uzatmıştır (Delta Air Lines, 2025). İş havacılığında ise yapay zekâ tabanlı talep tahmini ve rotalama sistemlerinin hız, konfor ve esnekliği destekleyerek premium farklılaşmayı pekiştirdiği gözlemlenmektedir (NBAA, 2024a).

**Propozisyon P4.** YZ tabanlı kişiselleştirme ve proaktif müşteri çözümleri, farklılaşma stratejisini desteklemektedir.

#### **4.4. Odaklanma: Bölgesel ve Charter Nişlerinde YZ'nin Katkısı**

Bölgesel havayolları, hub-and-spoke ağlarını besleyen bağlantı rolü ve belirli coğrafyalara yoğunlaşan operasyonlarıyla; charter taşıyıcılar ise yüksek sezonsallık ve grup rezervasyonlarının ağırlığıyla rekabet etmektedir. Bu iş modellerinde YZ, odak stratejisini üç temel kanaldan desteklemektedir.

Birincisi, mikro-segment talep tahminidir. Bölgesel hatlarda talep öngörüsü, yalnızca makro göstergelere değil aynı zamanda yerel demografi, mevsimsel hareketlilik ve özel etkinliklere ilişkin verilere dayandırılmaktadır. Son dönemde yapılan çalışmalar, bu tür hibrit veri setleri ile geliştirilen yapay zekâ tabanlı tahmin modellerinin, kapasite planlamasında ve uçuş sıklığının optimize edilmesinde önemli iyileştirmeler sağladığını göstermektedir (Lundaeva vd., 2024).

İkincisi, dinamik fiyatlandırma ve boş bacak (empty leg) kümelenmesidir. Charter taşımacılığında tipik olarak arz–talep dengesizlikleri gelir yönetimini zorlaştırmaktadır. Yapay zekâ, benzer talepleri gruplayarak ve uçak konumlandırma verilerini eşleştirerek boş bacak uçuşların daha etkin fiyatlanmasını sağlamaktadır. Gelir yönetimi şirketlerinin raporlarında, AI tabanlı dinamik fiyatlama çözümlerinin charter pazarında ölçeklenebilirlik ve gelir artışı sağladığı rapor edilmektedir (PROS, 2024)

Üçüncüsü, filo pozisyonlama ve jet-card yönetimidir. İş havacılığında, özel jetlerin doğru zaman–doğru yerde hazır bulunması kritik bir farklılaştırıcı unsur olup, yapay zekâ destekli filo optimizasyonu ve jet-card programları, kullanıcıya esnek ve maliyet etkin çözümler sunmaktadır. Yapay zekâ tabanlı filo planlama sistemleri, jet-card sahiplerinin kullanım desenlerini analiz ederek uçak tahsisinde daha yüksek verimlilik ve müşteri memnuniyeti sağlamaktadır (Jet.AI, 2025).



*Şekil 18: Odaklanma: Bölgesel ve Charter nişlerinde YZ etkisi*

*Kaynak: Communications Portals. (2025).*

Sonuç olarak, YZ bölgesel ve charter taşıyıcılarında mikro-segment gelir yönetimi, dayanıklı çizelgeleme ve talep tahminiyle rekabet avantajı yaratmaktadır. Charter pazarında ise fiyat–kapasite eşleşmesi ve grup taleplerinin kümelenmesi, gelir yönetimini güçlendiren stratejik bir katkı sunmaktadır.

**Propozisyon P5.** YZ tabanlı talep tahmini, dinamik fiyatlandırma ve kapasite optimizasyonu; bölgesel ve charter taşıyıcılarının odaklanma stratejisini güçlendirmektedir.

#### 4.5. Porter'ın Beş Gücü Açısından YZ'nin Etkisi

Porter'ın Beş Güç Modeli, havayolu endüstrisinin rekabet dinamiklerini bütüncül biçimde değerlendirmek için güçlü bir analitik çerçeve sunmaktadır (Porter, 1980). Yapay zekânın sektöre entegrasyonu, bu beş gücün her birinde farklı yönlerden dönüşüm yaratmaktadır.



Şekil 19: Porter'ın beş gücü açısından YZ'nin etkisi

*Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.*

- **Rakipler arası rekabet.** YZ tabanlı operasyonel uygulamalar (ör. Smart Gating, bağlantı optimizasyonu) uçuş dakiklık (OTP/D0) ve dönüş sürelerinde iyileşmeler sağlayarak maliyetleri düşürmekte; bu da yoğun rekabet ortamında marj baskısını hafifletmektedir (American Airlines Newsroom, 2023).
- **Müşteri pazarlık gücü.** Dinamik teklifler, bağlamsal fiyatlama ve kişiselleştirilmiş hizmet deneyimleri yolcunun farklı havayollarına geçiş esnekliğini sınırlamakta, müşteri bağlılığını artırmaktadır (IATA, 2024; Auer vd., 2024).
- **Tedarikçi pazarlık gücü.** YZ destekli prediktif bakım sistemleri, yedek parça arıza risklerini ve ani tedarik ihtiyacını azaltarak tedarikçilere olan bağımlılığı sınırlamaktadır (Yang ve Desell, 2022; NBAA, 2024a).

- **İkame tehdidi.** Çok modlu entegrasyon, havayolu deneyimini uçtan uca bir mobilite zincirine dönüştürmekte; Delta'nın Concierge hizmetinde Uber ve Joby entegrasyonları, havayolunu diğer ulaşım alternatiflerine kıyasla daha cazip hâle getirmektedir (Delta Air Lines, 2025; Joby Aviation, 2022).
- **Yeni giriş tehdidi.** Veri varlıklarının stratejik önemi, algoritma eğitiminde ölçek ekonomileri ve MLOps olgunluğunun sağladığı yüksek taklit maliyetleri, havacılıkta giriş engellerini yükseltmekte ve yeni rakiplerin sektöre girişini zorlaştırmaktadır (Paksoy vd., 2023; Moller & Raapke, 2017).

**Propozisyon P6.** YZ; rekabet baskısını hafifletmekte, müşteri bağlılığını artırmakta, tedarikçi bağımlılığını azaltmakta, ikame tehdidini sınırlamakta ve yeni giriş engellerini kuvvetlendirmektedir.

#### 4.6. Çeviklik ve Dayanıklılık: Veri-Model-Aksiyon Döngüsü

COVID-19 pandemisi, havayolu endüstrisinde yapay zekânın (YZ) çeviklik ve dayanıklılık açısından oynadığı kritik rolü açık biçimde ortaya koymuştur. Özellikle dayanıklı çizelgeleme, talebe duyarlı kapasite tahsisi ve proaktif kesinti yönetimi gibi alanlarda YZ, belirsizlik koşullarında işletmelerin operasyonel sürekliliğini sağlamada önemli katkılar sunmuştur (Czerny vd., 2021; Dube vd., 2021).

Tam hizmet ağ taşıyıcılarında (FSNC), bağlantı koruma ve gelir optimizasyonu için gerçek zamanlı planlama giderek zorunlu hâle gelirken; düşük maliyetli taşıyıcılar (LCC) ise hızlı uçak dönüşleri ve yüksek filo kullanım oranları sayesinde slot, ekip ve bakım kararlarını YZ tabanlı destek sistemleriyle yönetebilmiştir. Bu durum, farklı iş modellerinin YZ tabanlı karar destek sistemlerinden farklı şekillerde yararlandığını göstermektedir.

Özellikle uçuş operasyon verilerine dayalı NGAFID tabanlı prediktif bakım modelleri ve benzeri makine öğrenimi uygulamaları, arızaların daha erken tespit edilmesini sağlayarak operasyonel dayanıklılığı güçlendirmiştir (Yang ve Desell, 2022). Nitekim Southwest Airlines'ın filo yönetiminde uyguladığı prediktif bakım çözümleri, arıza kaynaklı gecikmeleri en aza indirme ve güvenilirliği artırma noktasında örnek vaka olarak değerlendirilmektedir (Canada, 2023).

**Propozisyon P7.** YZ, belirsizlik koşullarında havayolu işletmelerinin çeviklik ve dayanıklılığını artırmaktadır.

#### 4.7. Sınırlılıklar: Fiyatlandırma, Açıklanabilirlik ve Kartelleşme Riski

YZ, havayolu işletmelerinde operasyonel verimlilik ve müşteri deneyimi alanlarında güçlü katkılar sunmasına rağmen, fiyatlandırma süreçlerinde benimsenme görece sınırlı kalmıştır. Büyük bir ABD taşıyıcısı üzerinde yapılan ampirik analizler, tam dinamik optimizasyon yerine hâlen “fiyat kovaları” benzeri daha basit yöntemlerin kullanıldığını göstermektedir. Bu yaklaşım, veri işleme ve hesaplama maliyetlerini düşürse de potansiyel gelir artışını sınırlandırmaktadır (Hortaçsu vd., 2024). Benzer şekilde, rekabetçi piyasalarda dinamik fiyatlamanın teorik avantajlarını inceleyen çalışmalar, uygulamada birçok havayolunun bu optimum çözümlere tam olarak geçemediğini vurgulamaktadır (Williams, 2022).

Bunun yanı sıra, algoritmik fiyatlama sistemlerinin rekabet hukuku açısından doğurabileceği riskler tartışılmaktadır. OECD’nin (2017, 2023) raporlarında belirtildiği gibi, algoritmik fiyat sinyalleri firmalar arasında zımnî kartelleşme (tacit collusion) riskini artırmaktadır. Bu nedenle fiyatlandırmada şeffaflık, açıklanabilirlik, model risk yönetimi ve bağımsız denetim mekanizmalarının kritik önemde olduğu vurgulanmaktadır.

**Propozisyon P8.** YZ tabanlı fiyatlandırma, verimlilik ve gelir artışı potansiyeli yaratmakta; ancak kartelleşme riski nedeniyle sıkı yönetim ve bağımsız denetim gerektirmektedir.

#### 4.8. Miles–Snow Tipolojisi Açısından Strateji–YZ Uyumu

Miles ve Snow’un (1978) geliştirdiği strateji tipolojisi, işletmeleri dört temel profile ayırmaktadır: savunmacı (defender), analizci (analyzer), girişimci (prospecter) ve tepkici (reactor). Bu tipoloji, örgütlerin çevresel değişimlere verdikleri yanıtları ve stratejik yönelimlerini anlamak için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır.

Havayolu endüstrisinde bu model uygulandığında, düşük maliyetli taşıyıcıların (LCC) genellikle savunmacı strateji profiline yaklaştıkları görülmektedir. Bu şirketler, süreç standardizasyonu, maliyet liderliği ve istikrarı ön planda tutmaktadır. Buna karşılık, tam hizmet ağ taşıyıcılarının (FSNC) daha çok analizci strateji profiline yaklaştığı, yani etkinlik arayışını yenilikçi uygulamalarla birleştirdiği anlaşılmaktadır (Tsai vd., 2011; Lin, 2012).



Şekil 20: Miles–Snow bakışı

Kaynak: *Management Weekly* (2020).

Bu çerçevede yapay zekâ, savunmacı stratejilerde standart süreçlerin verimliliğini artırarak operasyonel istikrarı güçlendirmektedir. Analizci stratejilerde ise müşteri deneyimi inovasyonu, farklılaştırma ve gerçek zamanlı optimizasyonu mümkün kılan dönüştürücü bir kapasite olarak konumlanmaktadır. Böylece YZ, hem maliyet duyarlılığı yüksek LCC’lerde verimliliği artırmakta hem de FSNC’lerde farklılaşma ve yenilikçi değer yaratımına katkı sunmaktadır.

## 5. Tartışma

Bu çalışmada yapay zekâ (YZ), havayolu endüstrisinde bağımsız bir strateji olarak değil; maliyet liderliği, farklılaşma ve çeviklik/dayanıklılık gibi mevcut rekabet stratejilerini destekleyen bir kapasite olarak ele alınmıştır. Bulgular, yapay zekânın bu üç eksenle somut katkılar sunduğunu, ancak özellikle fiyatlandırma alanında benimsemenin sınırlı kaldığını göstermektedir (Czerny vd., 2021; Dube vd., 2021; Hortaçsu vd., 2024).

**Propozisyon 1 (P1)**, küresel YZ gelişmelerinin sektörde stratejik dönüşümü hızlandırdığını ancak adaptasyonun kademeli gerçekleştiğini göstermektedir. COVID-19 sonrası toparlanmada talep tahmini, kapasite planlaması ve emniyet uygulamalarında YZ’nin rolü bu bulguyu desteklemektedir.

**Propozisyon 2 (P2)**, YZ’nin emniyet, talep yönetimi, müşteri deneyimi ve sürdürülebilirlikte değer ürettiğini ancak fiyatlandırmada sınırlı



benimsendiğini vurgulamaktadır. United'ın "Get Me Close" programı ve Delta Concierge uygulaması müşteri deneyimi tarafında katkıyı kanıtlarken; fiyatlandırmada algoritmik açıklanabilirlik ve kartelleşme riski nedeniyle temkinli ilerlenmektedir.

**Propozisyon 3 (P3)**, YZ'nin maliyet liderliğini güçlendirdiğini ortaya koymaktadır. American Airlines'ın Smart Gating uygulaması ve Southwest'ın prediktif bakım projeleri operasyonel verimlilik ve maliyet düşüşü sağlamış; bu örnekler maliyet liderliği stratejisiyle doğrudan ilişkilidir.

**Propozisyon 4 (P4)**, farklılaşma stratejisinde kişiselleştirilmiş hizmetler ve proaktif çözümlerin rolünü ortaya koymaktadır. Delta Concierge ve United ConnectionSaver uygulamaları, yolcu deneyimini zenginleştiren örneklerdir.

**Propozisyon 5 (P5)**, bölgesel ve charter taşıyıcılarında YZ'nin odaklanma stratejisini desteklediğini göstermektedir. Mikro-segment talep tahmini ve dinamik fiyatlama uygulamaları bu stratejiyi güçlendirmektedir.

**Propozisyon 6 (P6)**, Porter'ın Beş Gücü bağlamında YZ'nin rekabet baskısını azalttığını, müşteri bağlılığını artırdığını ve giriş engellerini kuvvetlendirdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, YZ'nin yalnızca operasyonel değil, endüstriyel rekabet yapısını da dönüştüren bir kapasite olduğunu göstermektedir.

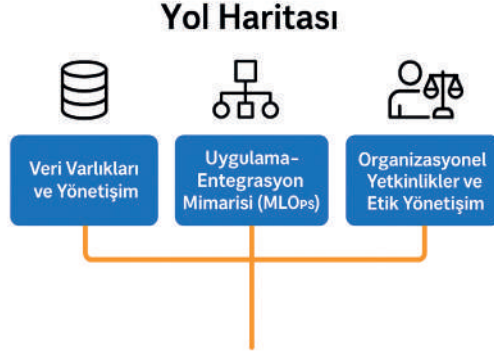
**Propozisyon 7 (P7)**, YZ'nin belirsizlik koşullarında çeviklik ve dayanıklılığı artırdığını göstermektedir. COVID-19 sürecinde talep şoklarına uyum sağlayan YZ tabanlı kapasite tahsisi ve kesinti yönetimi, bu bulguyu desteklemektedir.

**Propozisyon 8 (P8)**, fiyatlandırmada YZ'nin potansiyelini kabul etmekle birlikte, kartelleşme riski ve şeffaflık ihtiyacını öne çıkarmaktadır. Bu durum, yapay zekâ yönetişiminin rekabet hukuku çerçevesinde ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak, her bir propozisyon literatür ve sektör uygulamalarıyla desteklenmiş; YZ'nin stratejilerin yerine geçen değil, onları etkinleştiren bir unsur olduğunu açık biçimde göstermiştir.

### 5.1. Yol Haritası

YZ'nin rekabet stratejileriyle uyumlu ve etkili biçimde konumlandırılabilmesi, yalnızca teknik yatırımların değil, bütünsel kurumsal dönüşümün de hedeflenmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda üç tamamlayıcı boyut öne çıkmaktadır:



*Şekil 21: Yol haritası*

*Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.*

Veri varlıkları ve yönetim, yapay zekâ uygulamalarının stratejik değer üretebilmesi açısından temel bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Uçtan uca müşteri ve operasyon verisinin bütünleştirilmesi, karar alma hızını artırırken, sensör tabanlı gerçek zamanlı akışlar bakım, yakıt yönetimi ve yer operasyonlarında öngörülü müdahalelere imkân tanımaktadır. Ancak veri kalitesi ve standartlarının sağlanmaması durumunda yapay zekâ çıktılarının stratejik değer üretmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle veri yönetimi, sürdürülebilir bir rekabet avantajı için çekirdek bir gereklilik olarak değerlendirilmelidir.

Yapay zekânın etkin biçimde uygulanabilmesi, uygulama ve entegrasyon mimarisine, özellikle de MLOps süreçlerine bağlıdır. Modellerin hızlı bir şekilde devreye alınması, performans kaybını önlemek için drift izleme yapılması ve sürekli güncellemelerle doğruluğun korunması stratejik önem taşımaktadır. Açıklanabilirlik ve izlenebilirlik ilkeleri ise düzenleyici otoriteler nezdinde güvenin sağlanması açısından vazgeçilmezdir. Bu bağlamda MLOps yalnızca teknik bir altyapı değil, aynı zamanda sürdürülebilir rekabetin inşasında kritik bir unsur olarak görülmelidir.

Bunun yanında, organizasyonel yetkinlikler ve etik yönetim de yapay zekânın stratejik değerini belirleyen önemli bileşenlerdir. YZ'nin stratejiye entegrasyonu disiplinlerarası iş birliğini gerektirmekte; operasyon, pazarlama, hukuk ve mühendislik birimlerinin ortak çalışması benimsene sürecini hızlandırmaktadır. Ayrıca çalışanların adaptasyonunu kolaylaştırmak için yapay zekâ okuryazarlığını artırmaya yönelik eğitimlerin hayata geçirilmesi önemlidir. Etik kurulların ve bağımsız denetim mekanizmalarının devreye

alınması ise önyargı, mahremiyet ve rekabet hukuku risklerinin proaktif biçimde yönetilmesine katkı sağlayarak teknolojinin güvenilir ve sorumlu bir şekilde kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

## 5.2. Önerilen Değer Haritası

Yapay zekânın stratejik katkılarının görünür ve ölçülebilir hale gelebilmesi için performans göstergelerinin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. Bu noktada operasyonel, ticari, müşteri ve sürdürülebilirlik olmak üzere dört temel değer boyutu öne çıkmaktadır.

**Operasyonel değer**, OTP/D0 oranı, yakıt tüketimi, bakım güvenilirliği ve emisyon metrikleri gibi göstergeler aracılığıyla somut biçimde ortaya konulabilir. Örneğin American Airlines'ın Smart Gating uygulaması, taksi süresini azaltarak yakıt tüketiminde ve emisyon değerlerinde kayda değer iyileşmeler sağlamıştır (American Airlines Newsroom, 2023). Bu tür uygulamalar, yapay zekânın operasyonel süreçlere doğrudan katkısını göstermektedir.

**Ticari değer** ise RASM–CASM farkı, gelir yönetimi çıktıları ve pazar payı dinamikleri üzerinden değerlendirilebilir. Talep tahmini ve dinamik kapasite planlaması gibi yapay zekâ uygulamaları, bu boyuta doğrudan etki ederek ekonomik performansı güçlendirmektedir.

**Müşteri değerinin** ölçülmesinde Net Tavsiye Skoru, şikâyet oranları ve sadakat göstergeleri önemli birer referans noktası oluşturmaktadır. United Airlines'ın Get Me Close programı ile Delta'nın Concierge uygulaması, yolculara alternatif çözümler sunarak memnuniyeti artırmış ve müşteri deneyimini farklılaştıran örnekler olarak öne çıkmıştır (Lardinois, 2024; Delta News Hub, 2025).

**Sürdürülebilirlik değeri** ise CO<sub>2</sub>/ASK göstergesi ve yakıt optimizasyonu programları üzerinden izlenebilir. Yakıt ve rota optimizasyonu, çevresel performansı artırmanın yanı sıra uzun vadeli rekabet gücünü ve kurumsal sorumluluk hedeflerini desteklemektedir.

Bu göstergelerin rekabet stratejileriyle sistematik biçimde ilişkilendirilmesi, yapay zekânın havayolu sektöründe stratejilerin yerine geçen bir unsur değil; onları destekleyen ve güçlendiren bir etkinleştirici kapasite olarak konumunu daha da pekiştirecektir.

## 6. Sınırlılıklar ve Gelecek Araştırmalar

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle inceleme büyük ölçüde ikincil veriler ve güncel literatür üzerinden yürütülmüştür. Sektör uygulamalarına ilişkin örnekler güçlü vaka analizleri sunsa da birincil veri temelli ampirik doğrulama yapılmamış olması bulguların genelleştirilebilirliğini sınırlamaktadır.

İkinci olarak, yapay zekâ uygulamaları değerlendirilirken daha çok havayolu işletmelerine odaklanılmıştır. Oysa havalimanları, hava trafik kontrol sistemleri, bakım-onarım kuruluşları ve tedarik zinciri aktörleri de yapay zekânın stratejik etkilerinden doğrudan etkilenmektedir. Bu aktörlerin sürece dahil edilmemesi, ekosistem düzeyinde bütünsel bir analiz yapılmasını kısıtlamaktadır.

Üçüncü olarak, incelenen uygulamaların çoğunluğu ABD küresel taşıyıcılara aittir. Orta ve küçük ölçekli havayollarında yapay zekânın benimsenme düzeyi ve stratejik katkıları görece daha sınırlı biçimde yansıtılmıştır. Bu durum, farklı ölçeklerdeki işletmelerin karşılaştığı zorlukların ve fırsatların tam anlamıyla ortaya konulmasını engellemektedir.

Gelecek araştırmalar açısından üç yön özellikle önem taşımaktadır. İlk olarak, anket, mülakat ve vaka çalışmaları yoluyla yapay zekânın operasyonel, finansal, müşteri deneyimi ve sürdürülebilirlik boyutlarındaki etkilerinin nicel olarak test edilmesi gerekmektedir. İkinci olarak, havayolu işletmeleri yanında havalimanı yönetimleri, tedarikçiler ve regülatör kurumların da kapsama dâhil edilmesiyle ekosistem düzeyinde daha bütüncül bir analiz yapılmalıdır. Son olarak, küresel taşıyıcılarla bölgesel veya charter taşıyıcılar arasında karşılaştırmalı incelemeler gerçekleştirilerek ölçek farklarının yarattığı avantaj ve dezavantajlar ortaya konulmalıdır.

## 7. Sonuç

Bu çalışma, yapay zekânın havayolu endüstrisinde bağımsız bir strateji değil; maliyet liderliği, farklılaşma ve çeviklik/dayanıklılık gibi mevcut rekabet stratejilerini etkinleştiren merkezi bir kapasite olduğunu ortaya koymaktadır. Literatür ve sektör örnekleri, YZ'nin operasyonel verimlilik, müşteri deneyimi, sürdürülebilirlik ve kriz yönetimi alanlarında somut katkılar sunduğunu göstermiştir.

American Airlines'ın Smart Gating uygulaması, Southwest'ın prediktif bakım projeleri ve Delta ile United'ın müşteri odaklı hizmetleri, YZ'nin yalnızca operasyonel verimlilik sağlamadığını; aynı zamanda deneyim farklılaştırması ve dayanıklılık yarattığını da kanıtlamaktadır. Buna karşın,

fiyatlandırma gibi yüksek etki alanlarında açıklanabilirlik, rekabet hukuku ve kartelleşme riski nedeniyle benimsemenin sınırlı kaldığı görülmektedir.

Literatüre katkı açısından, çalışma YZ'yi strateji olarak değil, stratejiyi etkinleştiren bir kapasite olarak konumlandırmakta; bu yönüyle mevcut araştırmalara yeni bir kavramsal çerçeve sunmaktadır. Ayrıca sistematik biçimde geliştirilen sekiz propozisyon, ileride yapılacak ampirik araştırmalar için test edilebilir hipotezler ortaya koymaktadır.

Yönetimsel katkı açısından, çalışma havayolu yöneticilerine veri yönetişimi, MLOps entegrasyonu ve etik denetim mekanizmalarıyla desteklenen bir yol haritası önermektedir. Bu çerçeve, YZ yatırımlarının operasyonel, ticari, müşteri deneyimi ve sürdürülebilirlik göstergeleri üzerinden düzenli olarak izlenmesine imkân tanımaktadır. Böylece YZ, kısa vadeli operasyonel faydaların ötesine geçerek uzun vadeli ve sürdürülebilir rekabet avantajının etkinleştiricisi olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, yapay zekâ havayolu endüstrisinde tek başına bir strateji değil; stratejilerin işlerliğini artıran bir etkinleştirici kapasitedir. Gelecek dönemde veri yönetişimi, entegrasyon mimarisi ve organizasyonel yetkinliklerin güçlendirilmesi, YZ'nin sürdürülebilir rekabet avantajı yaratmadaki rolünü daha da pekiştirecektir.

## Kaynakça

- Alaska Airlines. (2024, August 9). How AI is helping Alaska Airlines plan better flight routes. <https://news.alaskaair.com/sustainability/how-ai-is-helping-alaska-airlines-plan-better-flight-routes-and-lower-emissions/>
- Alaska Airlines, & UPLabs. (2024, October 2). Alaska Airlines and UPLabs launch Odysee, an AI-enabled flight schedule optimization platform. <https://news.alaskaair.com/company/alaska-airlines-up-labs-launch-odysee-ai-enabled-startup-taking-a-new-approach-to-schedule-optimization/>
- American Airlines Newsroom. (2023, November 22). *Straight to the gate this holiday season – Smart Gating technology keeps American moving during its busiest-ever Thanksgiving season* [Press release]. American Airlines. <https://news.aa.com/news/news-details/2023/Straight-to-the-gate-this-holiday-season-OPS-OTH-11/default.aspx>
- Anderson, W. P., Gong, G., & Lakshmanan, T. R. (2005). Competition in a deregulated market for air travel: The US domestic experience and lessons for global markets. *Research in transportation Economics*, 13, 3-25.
- Auer, I., Schlögl, S., & Glowka, G. (2024). Chatbots in airport customer service—exploring use cases and technology acceptance. *Future Internet*, 16(5), 175.
- Barbosa, A. M., Ngo, T. V. N., Jafarigol, E., Trafalis, T. B., & Ojoboh, E. P. (2025, February 7). *Using federated machine learning in predictive maintenance of jet engines* [Preprint]. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2502.05321>
- Brownlow, J. (2025, January 9). Delta's AI-digital tool: Revolutionising loyalty, multi-modal travel and CX. *World Aviation Festival Blog*. <https://worldaviationfestival.com/blog/airlines/how-deltas-ai-digital-tool-will-revolutionise-loyalty-multi-modal-travel-and-cx>
- Brunton, S. L., Nathan Kutz, J., Manohar, K., Aravkin, A. Y., Morgansen, K., Klemisch, J., ... & McDonald, D. (2021). Data-driven aerospace engineering: reframing the industry with machine learning. *Aiaa Journal*, 59(8), 2820-2847.
- Business Insider. (2024, November 20). How Alaska Airlines used AI to save over 1.2 million gallons of jet fuel.
- CAE Inc. (2023, April 25). *Garuda Indonesia takes crew planning optimization to new heights with CAE Flight Operations Solutions* [Press release]. PR Newswire. <https://www.prnewswire.com/news-releases/garuda-indonesia-takes-crew-planning-optimization-to-new-heights-with-cae-flight-operations-solutions-301806858.html>
- CAE. (2025). *Crew Management – Flightscape*. CAE. <https://www.cae.com/civil-aviation/aviation-software/flightscape/crew-management>

- Canaday, H. (2023, March 20). Southwest embraces predictive maintenance to cut delays. *Aviation Week Network*. <https://aviationweek.com/aerospace/southwest-embraces-predictive-maintenance-cut-delays>
- Communications Portals. (2025). *Airline revenue management*. Communications Portals. <https://communicationsportals.com/airline-revenue-management/>
- Czerny, A. I., Fu, X., Lei, Z., & Oum, T. H. (2021). Post pandemic aviation market recovery: Experience and lessons from China. *Journal of Air Transport Management*, 90, 101971.
- Dassault Aviation. (2023, October 6). *Dassault Aviation introduces FalconWays—A route optimization tool to reduce carbon emissions* [Press release]. <https://www.dassaultfalcon.com/app/uploads/2023/10/Dassault-Aviation-Introduces-FalconWays.pdf>
- Datalex. (2022, November 8). *The language of differentiation: How Datalex's recent IATA ARMi certifications for dynamic pricing are accelerating the path to dynamic airline offers* [Infographic]. Datalex. <https://www.datalex.com/news/the-language-of-differentiation-how-datalexs-recent-iata-armi-certifications-for-dynamic-pricing-are-accelerating-the-path-to-dynamic-airline-offers/>
- Delta News Hub. (2025, January 7). *Delta unveils AI-powered travel journey with new 'multi-modal' transportation options*. United States: Delta Air Lines. <https://news.delta.com/delta-unveils-ai-powered-travel-journey-new-multi-modal-transportation-options>
- Demir, G., Moslem, S., & Duleba, S. (2024). Artificial intelligence in aviation safety: Systematic review and bibliometric analysis. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17(1). <https://doi.org/10.1007/s44196-024-00671-w>
- Doganis, R. (2019). *Flying off course: Airline economics and marketing* (5th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315402987>
- dotData. (2024). Case study: Japan Airlines uses predictive analytics to strive for zero delays. <https://dotdata.com/resources/case-study/case-study-japan-airlines-uses-predictive-analytics-to-strive-for-zero-delays/>
- 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.
- EASA, European Union Aviation Safety Agency. (2023). *Artificial intelligence roadmap 2.0: A human-centric approach to AI in aviation*. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-20>
- EASA, European Union Aviation Safety Agency. (2024). *Artificial intelligence concept paper—Issue 2: Guidance for Level 1 & 2 machine-learning*



- ning applications.* <https://www.casa.europa.eu/en/document-library/general-publications/ai-concept-paper-issue-2>
- FAA Federal Aviation Administration. (2021). *Aviation Safety Information Analysis and Sharing (ASIAS) 3.0—Performance work statement.* <https://www.faa.gov>
- Fondevila-Gascón, J. E., Gutiérrez-Aragón, Ó., Lopez-Lopez, D., Curiel-Barrios, G., & Alabart-Algueró, J. (2025). Passenger perceptions of Artificial Intelligence in airline operations: Implications for air transport management. *Journal of Air Transport Management*, 129, 102874.
- Gao, Y. (2022). Benchmarking the recovery of air travel demands for US airports during the COVID-19 Pandemic. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 13, 100570.
- Gillen, D., & Morrison, W. G. (2005). Regulation, competition and network evolution in aviation. *Journal of Air Transport Management*, 11(3), 161-174.
- SITA. (2024). *Air Transport IT Insights 2024.* SITA. <https://www.sita.aero/resources/surveys-reports/air-transport-it-insights-2024>
- Hasib, A. R. A., Khabir, M., Shawon, M. T. R., & Rahman, A. (2023, September 23). *An interpretable systematic review of machine learning models for predictive maintenance of aircraft engine* [Preprint]. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2309.13310>
- Hatipoğlu, I., & Tosun, Ö. (2024). Predictive modeling of flight delays at an airport using machine learning methods. *Applied Sciences*, 14(13), 5472. <https://doi.org/10.3390/app14135472>
- Hortaçsu, A., Natan, O. R., Parsley, H., Schwieg, T., & Williams, K. R. (2024). Organizational structure and pricing: Evidence from a large us airline. *The Quarterly Journal of Economics*, 139(2), 1149-1199.
- IATA International Air Transport Association. (2018). *Dynamic offer creation: White paper.* <https://www.iata.org/contentassets/2d997082f3c84c7cba-001f506edd2c2c/air-white-paper-dynamic-offer-creation.pdf>
- IATA. (2023). *Annual Review 2023.* International Air Transport Association. <https://www.iata.org/contentassets/c81222d96c9a4e0bb4ff6ced0126f0bb/annual-review-2023.pdf>
- IATA International Air Transport Association. (2024). *Annual review 2024.* <https://www.iata.org/en/publications/annual-review>
- IATA International Air Transport Association. (2025). *NDC factsheet (NDC 24.1 & Modern Airline Retailing).* <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-ndc>
- Investopedia. (2023, August 9). Google AI and American Airlines tested ways to reduce climate impact of flights. <https://www.investopedia.com/goog->

- le-ai-and-american-airlines-tested-ways-to-reduce-climate-impact-of-flights-7643940
- IFS Blog. (2023, December 8). AI on the ascent: Practical uses for AI in aviation maintenance. <https://blog.ifs.com/ai-on-the-ascent-practical-uses-for-ai-in-aviation-maintenance/>
- IoT World Today. (2025, January 8). Delta partners with Uber, Joby Aviation for hyper-personalized travel at CES 2025. <https://www.iotworldtoday.com/transportation-logistics/delta-partners-with-uber-joby-aviation-for-hyper-personalized-travel-at-ces-2025>
- Joby Aviation. (2022, October 11). Delta and Joby Aviation partner to pioneer home-to-airport transportation for customers. <https://www.jobyaviation.com/news/delta-joby-aviation-partner-home-to-airport-transportation>
- Lardinois, F. (2024, April 21). How United Airlines uses AI to make flying the friendly skies a bit easier. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2024/04/21/how-united-airlines-uses-ai-to-make-flying-the-friendly-skies-a-bit-easier/>
- Lin, M. H. (2012). Airlines-within-airlines strategies and existence of low-cost carriers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(3), 637-651.
- Lundaeva, K. A., Saranin, Z. A., Pospelov, K. N., & Gintciak, A. M. (2024). Demand forecasting model for airline flights based on historical passenger flow data. *Applied Sciences*, 14(23), 11413. <https://doi.org/10.3390/app142311413>
- ManagementWeekly. (2020, August 31). *Miles and Snow's strategy typology*. ManagementWeekly. <https://managementweekly.org/miles-and-snows-strategy-typology/>
- Miles, R. E., Snow, C. C., Meyer, A. D., & Coleman Jr, H. J. (1978). Organizational strategy, structure, and process. *Academy of management review*, 3(3), 546-562.
- Moller, J. P. C., & Raapke, K. B. (2017). La relevancia de la alta dirección (CEO) para la transformación y el cambio de paradigma en la gestión de la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva del sector de servicios intensivos en conocimiento. *Economía industrial*, (406), 91-103.
- NBAA. (2024a, May). Experts: AI promises safety role in business aviation. *Business Aviation Insider*. <https://nbaa.org/news/business-aviation-insider/2024-05/experts-ai-promises-safety-role-in-business-aviation>
- NBAA. (2024b, November). Predictive AI systems could revolutionize aviation maintenance. *Business Aviation Insider*. <https://nbaa.org/news/business-aviation-insider/2024-11/predictive-ai-systems-could-revolutionize-aviation-maintenance>
- OECD, P. (2017). Algorithms and collusion: competition policy in the digital age. *Algorithms and Collusion: Competition Policy in the Digital Age*.

- OECD. (2023). *Artificial intelligence, data and competition: background note*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/876367e3-en>
- Önen, V. (2016). Geleneksel Havayolları ile Düşük Maliyetli Taşıyıcılar Arasındaki Stratejik Yönetim ve Pazarlama Karması Farklılıklarının İçerik Analizi: THY–Pegasus Karşılaştırması. *International Journal of Academic Value Studies*, 2(7), 63–94.
- Paksoy, T., Gunduz, M. A., & Demir, S. (2023). Overall competitiveness efficiency: A quantitative approach to the five forces model. *Computers & Industrial Engineering*, 182, 109422.
- Pérez-Campuzano, D., Ortega, P. M., Andrada, L. R., & López-Lázaro, A. (2021). Artificial Intelligence potential within airlines: a review on how AI can enhance strategic decision-making in times of COVID-19. *Journal of Airline and Airport Management*, 11(2), 53-72.
- Porter, M. E. (1980). *Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors*. Free Press.
- Spirit Airlines, Inc. (2023, April 26). *Spirit Airlines adds new flight scheduling technology in time for peak summer travel season* [Press release]. PR Newswire. <https://www.prnewswire.com/news-releases/spirit-airlines-adds-new-flight-scheduling-technology-in-time-for-peak-summer-travel-season-301808364.html>
- PROS. (2024, June 4). *Unlocking dynamic pricing strategies*. PROS. <https://www.pros.com/learn/outperform-2024/unlock-dynamic-pricing-strategies/>
- PROS. (2025, June 13). How JetBlue is redefining forecasting accuracy and analyst efficiency with PROS Revenue Management. <https://pros.com/learn/case-studies-testimonials/jetblue-redefining-forecasting-accuracy-and-analyst-efficiency-with-pros-rma>
- Reuters. (2025, August 1). Delta Air assures US lawmakers it will not personalize fares using AI. *Reuters*. <https://www.reuters.com/technology/delta-air-assures-us-lawmakers-it-will-not-personalize-fares-using-ai-2025-08-01/>
- Skift. (2025, June 25). *United Airlines refreshes app with new features for connecting flights*. Skift. <https://skift.com/2025/06/25/united-airlines-refreshes-app-with-new-features-for-connecting-flights>
- Sun, X., Wandelt, S., & Zhang, A. (2022). COVID-19 pandemic and air transportation: Summary of recent literature. *Journal of Air Transport Management*, 99, 102367.
- 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.
- The Points Guy. (2025, June 25). *United is improving the connecting experience with big tech upgrades (ConnectionSaver screenshot)*. The Points Guy. <https://thepointsguy.com/airline/united-airlines-connection-saver-expanded/>

- Tsai, W. H., Chou, W. C., & Leu, J. D. (2011). An effectiveness evaluation model for the web-based marketing of the airline industry. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15499-15516.
- TrulyClassy. (2023, June 30). *Experience luxury flying in the best first class airlines*. TrulyClassy. <https://www.trulyclassy.com/experience-luxury-flying-best-first-class-airlines/>
- United Airlines. (2025). Customer promise: ConnectionSaver. <https://www.united.com/en/us/fly/travel/responsibility/customer-promise>
- View from the Wing. (2025, September 22). *American Airlines becomes more flexible rebooking passengers on other airlines during delays*. <https://viewfromthewing.com>
- Williams, K. (2022). *Dynamic Price Competition: Theory and Evidence from Airline Markets* (No. 2341). Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.
- Yang, H., & Desell, T. (2022). A large-scale annotated multivariate time series aviation maintenance dataset from the ngafid. *arXiv preprint arXiv:2210.07317*.



## Hava Trafik Yönetiminde Yapay Zekâ Uygulama Süreci

Seda Çeken<sup>1</sup>

### Özet

Bu kitap bölümü, hava trafik yönetiminde (Air Traffic Management – ATM) yapay zekâ tabanlı dönüşümün kapsamını bütüncül bir yaklaşımla incelemektedir. Öncelikle ATM'nin temel bileşenleri, operasyonel süreçleri ve sistem mimarisi açıklanmakta ve yapay zekânın sisteme entegrasyonunun oluşturduğu paradigma değişimi ele alınmaktadır. Otomasyon düzeyleri, karar destek sistemleri, insan–makine etkileşimi, bilişsel yük ve emniyet yönetimi bağlamında yapay zekâ uygulamalarının gelişen rolü değerlendirilmektedir. Makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme, bilgisayarla görme, kestirimci analitik ve çok etmenli pekiştirmeli öğrenme gibi yöntemlerin trafik akışı, kapasite planlaması, operasyonel verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri tartışılmaktadır. Bölümün merkezinde ise SESAR (Single European Sky ATM Research) kapsamında yürütülen DIALOG, ORCI, AWARE, SynthAIR, JARVIS, DARWIN, ASTRA ve TRUSTY projeleri yer almaktadır. Bu projelerin teknik yenilikleri, operasyonel çıktıları ve insan faktörleri açısından önemi analiz edilmektedir. Dijital asistanlar, hotspot öngörüsü, karmaşıklık yönetimi, emniyet kestirimi, açıklanabilir yapay zekâ (XAI) ve insan-merkezli tasarım gibi alanlarda bu projelerin ATM dönüşümüne nasıl yön verdiği ortaya konmuştur. Tartışma ve sonuç kısmında ise güvenilirlik, etik yönetim, iş gücü uyumu, beceri kaybı ve siber dayanıklılık gibi kritik unsurlar ele alınmakta ve geleceğe yönelik insan–yapay zekâ iş birliğini güçlendirecek politika ve araştırma önerileri sunulmaktadır.

1 Dr., Öğr. Gör., İstanbul Üniversitesi Havacılık Psikolojisi Araştırmaları Enstitüsü, Havacılık Psikolojisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, sedaceken@istanbul.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5870-2246

## 1. Giriş

Havacılık sektörü, yapay zekânın (YZ) giderek artan biçimde temel operasyonel sistemlere entegre edilmesiyle beraber hızlı bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Uçuş operasyonlarından bakım faaliyetlerine, havaalanı yönetiminden hava trafik kontrolüne kadar uzanan geniş bir yelpazede YZ verimliliği artırmakta, emniyeti güçlendirmekte ve operasyonel süreçleri yeniden tanımlamaktadır. Güncel piyasa analizlerine göre, YZ artık havacılıkta dijital dönüşümün merkezinde yer almakta ve kestirimci analitik, otomasyon ve uyarlanabilir karar destek mekanizmalarıyla sektörün rekabet gücünü ve sürdürülebilirliğini desteklemektedir (Fortune Business Insights, 2025). Intel, NVIDIA, IBM, Microsoft, Airbus ve Thales gibi küresel teknoloji ve havacılık şirketleri ile Jeppesen, Skywise ve TAV Technologies gibi uzman firmalar uçuş yörüngesi optimizasyonu, bakım süreçlerinin tahmin edilmesi ve kişiselleştirilmiş yolcu deneyimi gibi alanlarda veri temelli çözümler geliştirmektedir. Bu gelişmeler teknolojiyi yalnızca operasyonel bir araç olmaktan çıkarmakta ve sürdürülebilir büyümenin ve stratejik avantajın temel unsuru hâline getirmektedir. COVID-19 pandemisi bu dönüşüm sürecinde hızlandırıcı bir rol oynamıştır. Başlangıçta yaşanan mali kısıtlamalar ve seyahat yasakları nedeniyle teknolojik yatırımlar yavaşlamış olsa da yaşanan kriz dönemi insan gücüne dayalı sistemlerin kırılganlığını açık biçimde ortaya koymuştur. Bu durum, hava yolu şirketlerini ve havalimanlarını otomasyon ve veri temelli karar alma süreçlerine öncelik vermeye yöneltmiştir. YZ destekli kestirimci bakım sistemleri, kalabalık yönetimi ve sağlık tarama teknolojileri bu dönemde öne çıkan uygulamalardan olmuştur. Bugün hava trafik bağlamında da oldukça ön plana çıkan makine öğrenimi (ML) tabanlı hava trafik yönetimi (ATM) araçları, trafik sıkışıklıklarını önceden tahmin ederek çevresel etkileri azaltmakta ve uçuşların zamanında gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Makine öğrenimi (ML) ve derin öğrenme (DL) algoritmaları sayesinde meteoroloji, seyrüsefer ve operasyonel veriler gerçek zamanlı olarak analiz edilmekte ve bu sayede uçuş rotaları dinamik biçimde yeniden düzenlenmektedir. Örneğin, Alaska Airlines 2025 yılında devreye aldığı YZ tabanlı rota optimizasyon sistemiyle yalnızca altı ayda yaklaşık 480.000 galon jet yakıtı tasarrufu sağlamış, bunun hem çevresel hem de ekonomik açıdan ölçülebilir bir kazanım olduğunu raporlamıştır (Fortune Business Insights, 2025).

Uluslararası düzeyde Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) YZ'yi, havacılıkta verimliliği, emniyeti ve yolcu deneyimini artıran dönüştürücü bir unsur olarak tanımlamaktadır (ICAO, 2025). Otoritenin yayımladığı güncel dokümanlarda dijital dönüşümün artık havacılığın çevresel sürdürülebilirliği kadar operasyonel emniyetin de ayrılmaz bir



parçası olduğu vurgulanmaktadır. Potansiyel YZ uygulamaları ile hava trafik yönetiminde Haberleşme–Seyrüsefer–Gözetim/Hava Trafik Yönetimi / Meteoroloji (CNS/ATM/MET) sistemleri bütününde yer almakta ve büyük veri analitiği ve örüntü tanıma yöntemleri sayesinde hava trafik sıkışıklıkları, potansiyel çakışmalar veya hava koşullarına bağlı riskler önceden belirleneceği öngörülmektedir. Bu potansiyel gelişmeler ile hava trafik kontrolörleri çoklu veriye dayalı karar destek sistemlerinden yararlanarak daha hızlı ve isabetli kararlar alabileceklerdir. Bu gelişmeler, durumsal farkındalığın yalnızca insan merkezli bir gözlem süreci olmaktan çıkarak, insan–makine iş birliğine dayalı bilişsel sistemlere dönüşmesini sağlamaktadır. Ancak bu teknolojik dönüşüm, beraberinde yeni riskler ve etik tartışmaları da getirmektedir. ICAO (2025) ve Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA, 2024a), ileri düzey otomasyonun insan–makine etkileşimini, hava trafik kontrolörlerinin dikkat düzeyini ve durumsal farkındalığını olumsuz etkileyebileceğine dikkat çekmektedir. YZ sistemlerine aşırı güven duyulması, olağandışı ya da acil durum senaryolarında yeni tür operasyonel riskler yaratma gücüne sahiptir. Bu nedenle, YZ'nin ATM'e entegrasyonu yalnızca teknik bir konu değil, aynı zamanda etik, güvenlik ve yönetim meselesidir. ICAO'nun yanı sıra Federal Havacılık İdaresi (FAA) ve EASA, YZ tabanlı sistemlerin sertifikasyonu ve denetlenmesi için özel yol haritaları hazırlayarak insan merkezli ve şeffaf bir yaklaşımın önemini vurgulamaktadır (EASA, 2024a; FAA, 2024). Bu bakış açısı, otomasyonun insanın yerini almak yerine insanın karar alma yetkinliğini desteklemesi gerektiği anlayışına dayanmaktadır.

Operasyonel düzeyde bakıldığında, YZ tabanlı çözümler hava trafiğinde hem emniyet hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından somut iyileşmeler sağlamaktadır. EUROCONTROL (2025), YZ'nin havacılığın iki temel sorununa —*kapasite ve çevresel etki*— aynı anda çözüm üretebileceğini belirtmektedir. Hava trafiği yoğunluğu, meteorolojik veriler ve hava sahası yapılandırılmaları gibi değişkenlerin analiz edilmesiyle YZ sistemleri uçuş rotalarını optimize etmekte, yakıt tüketimini ve gecikmeleri azaltabilir. Bu gelişmeler, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve SESAR (Single European Sky ATM Research) programının hedefleriyle de uyum göstermektedir. Ayrıca, YZ destekli karar destek sistemleri, kontrolörlerin iş yükünü azaltırken trafik akışını daha verimli biçimde yönetmelerine olanak tanımaktadır.

Bu bağlamda, SESAR JU (2025a) raporuna göre Avrupa'da ATM bugün önemli bir kavşak noktasındadır. Avrupa hava sahası, artan uçuş sayıları ve yeni hava aracı türlerinin (örneğin sıfır emisyonlu hava araçları, insansız hava araçları ve yüksek irtifa platformları) aynı gökyüzünü paylaşması nedeniyle her zamankinden daha karmaşık bir yapıya bürünmektedir. 2019'da yaklaşık 11 milyon uçuşla rekor seviyeye ulaşan hava trafiği, 2024 itibarıyla yeniden bu

düzeyin üzerine çıkmış ve 2030'a kadar yıllık %5 oranında artış göstereceği, 2050'ye gelindiğinde ise 16 milyon uçuşa ulaşacağı öngörülmektedir. Bu artış, kapasiteyi artırma çabalarının yanı sıra iklim değişikliği, jeopolitik krizler ve güvenlik tehditleri gibi çok boyutlu baskıları da beraberinde getirmektedir. Özellikle 2025 yılı itibarıyla Rusya-Ukrayna savaşı sonucunda Avrupa hava sahasının yaklaşık %20'sinin sivil uçuşlara kapanmış olması, sistemin esnekliğini test eden kritik bir örnektir. ATM'de önemli rol oynayan SESAR girişimleri, bu zorlukların yalnızca ulusal kurumların değil, tüm paydaşların ortak hareket etmesini gerektirdiğini belirtmiştir. Bu doğrultuda SESAR girişimleri ile Avrupa ATM Ana Planı (European ATM Master Plan) ile modernizasyonun yol haritasını oluşturulmuştur. Bu plana göre, 2045 yılı itibarıyla tüm uçuşların kapıdan kapıya (gate-to-gate) optimize edilmesi, hava-yer ve yer-yer bağlantılarının kesintisiz hâle getirilmesi ve karbon nötr bir hava sahası yönetimi vizyonuna ulaşılması hedeflenmektedir. Böylece Avrupa hava sahası emisyonları en aza indiren, gürültü kirliliğini azaltan, yakıt tüketimini optimize eden ve aynı zamanda değişken trafik taleplerine uyum sağlayabilecek ölçeklenebilir, dayanıklı ve çok modlu bir yapıya dönüştürülecektir.

Bununla birlikte, dijitalleşme sürecinde insan faktörü vazgeçilmezdir. EUROCONTROL (2024) ve Uluslararası Hava Trafik Kontrolörleri Federasyonu (IFATCA) hava trafik kontrolörlerinin sahip olduğu deneyim, esneklik ve yargılama gücünün hiçbir otomasyon sisteminde tam olarak ikame edilemeyeceğini vurgulamaktadır. Deneyimli kontrolörler, belirsiz durumlarda sezgisel karar alma, bağlamsal düşünme ve etkili iletişim becerileriyle sistemin emniyet unsurlarındadır. Bu nedenle, YZ'nin ATM'ye entegrasyonu sırasında kontrolörlerin dijital okuryazarlık, adaptasyon yeteneği ve bilişsel dayanıklılık gibi becerilerinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, açıklanabilir YZ (Explainable AI – XAI) yaklaşımları, insan-YZ iş birliğinde güven ve şeffaflığın artırılmasında temel bir araç olarak öne çıkmaktadır.

YZ ayrıca hava sahası yönetiminin yapısal mimarisini de dönüştürmektedir. Günümüzde akıllı sistemler yalnızca geleneksel rota ve terminal yönetiminde değil, Gelişmiş Hava Hareketliliği (Advanced Air Mobility- AAM) ve Kentsel Hava Hareketliliği (Urban Air Mobility- UAM) gibi yeni operasyonel kavramların entegrasyonunda da rol üstlenmektedir. Bu yeni kavramlar veri yoğunluklu iletişim ve denetim gerektiren karmaşık hava sahası senaryolarını gündeme getirmekte ve YZ'nin gerçek zamanlı algılama, planlama ve öğrenme kabiliyeti bu süreçte belirleyici olmaktadır. Ancak bu teknolojik evrim hesap verebilirlik, veri gizliliği ve etik sorumluluk gibi yeni düzenleyici

sorular doğurmaktadır. ICAO (2025), bu nedenle küresel ölçekte “YZ/CNS/ATM” çerçevesinin oluşturulması gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu kitap bölümünde, ATM’de YZ temelli dönüşümün kuramsal çerçevesi ile uygulamadaki yansımaları bütüncül bir perspektiften ele alınmaktadır. ATM’nin bileşenleri ve işlevlerine ilişkin temel kavramsal altyapı sunulduktan sonra, YZ’nin bu sistemde üstlendiği roller, ortaya çıkardığı fırsatlar ve yol açtığı zorluklar disiplinler arası bir bakış açısıyla incelenmektedir. Avrupa’nın tek hava sahasını modernize etmeyi amaçlayan SESAR girişimleri ise bu dönüşümün somut ve operasyonel örneklerini oluşturarak, YZ ’nin akıllı otomasyon, durumsal farkındalık, hava sahası yönetimi, kapasite optimizasyonu ve emniyet artırımı gibi alanlarda nasıl konumlandığını göstermektedir. Bu kapsamda seçilen sekiz proje—DIALOG, ORCI, AWARE, SynthAIR, JARVIS, DARWIN, ASTRA ve TRUSTY—güncel araştırma ve yenilikçilik faaliyetlerinin yönünü belirleyen kritik uygulama alanlarını temsil etmekte olup, ATM’de insan-makine iş birliğinin geleceğine dair önemli bir çerçeve sunmaktadır. Bölümün devamında, bu projelerden elde edilen bulgular doğrultusunda ATM’de YZ teknolojilerinin uygunluk düzeyi, insan faktörleri etkileri, emniyet ve etik gereklilikleri ile sürdürülebilir bir entegrasyonun nasıl sağlanabileceğine ilişkin tartışmalar yürütülmekte ve geleceğe yönelik araştırma ile politika önerileri geliştirilmektedir.

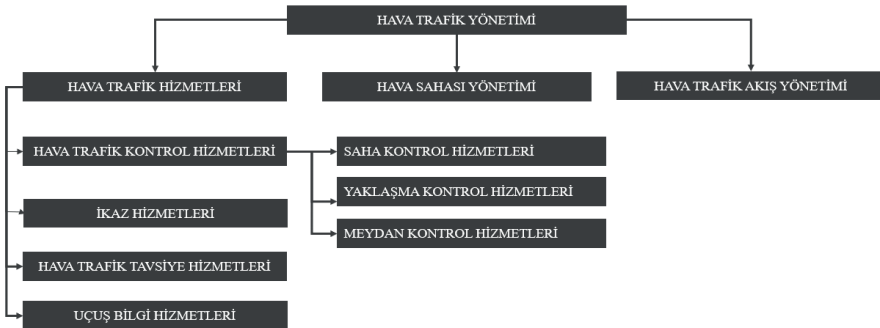
## 2. Hava Trafik Yönetimi

Hava trafik yönetimi (Air Traffic Management – ATM), hava sahasının ve hava trafiğinin bütüncül biçimde emniyetli, düzenli, verimli ve ekonomik olarak yönetilmesini amaçlayan dinamik bir sistemdir. ICAO’nun 4444 sayılı dokümanında yapılan tanımla ATM hava trafik hizmetleri (Air Traffic Service- ATS), hava sahası yönetimi (Air Space Management-ASM) ve hava trafik akış yönetimi (Air Traffic Flow Management- ATFM) süreçlerinin bütünleşik biçimde yürütülmesini kapsar (ICAO, 2016). Bu süreçler, hem havadaki hem de yerdeki fonksiyonların koordinasyonunu gerektirir ve hava aracı, pilot, kontrolör, havayolu işletmesi, askeri birimler ve havaalanı otoriteleri arasında kesintisiz bir iş birliği üzerine kuruludur (Royal Aeronautical Society, t.y.).

ATM sisteminin temel amacı hava araçlarının tüm uçuş aşamalarında emniyetli ve verimli biçimde hareket etmesini sağlamaktır. Bu sistem uçuş öncesi planlama, hava sahasının tahsisi, uçuşun yürütülmesi ve iniş sonrası süreçleri içeren çok katmanlı bir yapıya sahiptir (Budd, 2020; Sridhar ve Chatterji, 2015; Fewings, 2010). ATM kapsamında görev yapan hava trafik kontrolörleri hava araçlarının çarpışmasını önlemek, trafik akışını düzenlemek ve uçuşların emniyetli bir biçimde gerçekleşmesini sağlamakla yükümlüdür.

Kontrolörler telsiz aracılığıyla pilotlara talimat, bilgi ve izinler verirler. Ayrıca meteorolojik koşulları aktarma, tırmanma ve alçalma seviyelerini belirleme, hava sahasındaki asgari mesafe standartlarını koruma ve olağandışı durumlarda yönlendirme yapma gibi görevleri vardır (SHGM, t.y.).

Avrupa ATM sisteminin merkezinde yer alan EUROCONTROL Pan-Avrupa ölçekte hem sivil hem de askerî havacılığı destekleyen, araştırma-geliştirme, ağ yönetimi, düzenleyici destek ve performans izleme alanlarında uzmanlaşmış bir uluslararası kuruluştur. Üye devletler, hava seyrüsefer hizmet sağlayıcıları, hava yolu işletmeleri, havalimanları ve üretici firmalarla iş birliği içinde çalışan ve ATM hizmetlerini sürdüren EUROCONTROL, Avrupa Komisyonu, EASA ve ulusal denetim otoritelerine teknik ve operasyonel destek sağlamakta ve aynı zamanda Tek Avrupa Hava Sahası (Single European Sky- SES) vizyonunun uygulanmasına doğrudan katkı sunmaktadır. *Network Manager* rolü kapsamında EUROCONTROL, eski Merkezi Akış Yönetim Birimi'nin görevlerini genişleterek Avrupa ATM ağını proaktif biçimde yönetmekte, yaklaşık on milyon yıllık uçuşun planlanması ve optimize edilmesini koordine etmektedir. Buna ek olarak Maastricht Upper Area Control Centre aracılığıyla dört ülkenin üst hava sahasında hava trafik kontrol hizmeti sağlamakla beraber emniyet yönetimi, performans değerlendirme, SESAR Ar-Ge faaliyetleri ve hava-yer/sivil-asker entegrasyonu gibi kritik alanlarda Avrupa çapında standartların geliştirilmesine öncülük etmektedir (EUROCONTROL, t.y.). Türkiye'de hava trafik kontrol hizmetleri, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ) tarafından yürütülmektedir. Bu kapsamda, saha kontrol (Area Control), yaklaşma kontrol (Approach Control) ve meydan kontrol (Aeorodrome Control) üniteleri ulusal ve uluslararası düzenlemelere uygun şekilde faaliyet göstermekte ve hava araçlarının yer ve hava hareketlerini koordineli biçimde yönetmektedir (DHMİ, t.y.).



Şekil 1: ATM Yapısı

Kaynak: (Tuncal, 2025a)

## 2.1. ATM'nin Bileşenleri ve İşlevleri

ATM bileşenleri Şekil 1'de gösterilmektedir.

### 2.1.1. Hava Trafik Hizmetleri (ATS)

ATS hava araçlarının emniyetli ve düzenli biçimde hareket etmesini sağlamak amacıyla verilen temel hizmetlerdir. Bu hizmetler, hava trafik kontrol hizmeti (Air Traffic Control- ATC), uçuş bilgi hizmeti (Flight Information Service- FIS) ve ikaz hizmetini (Alerting) kapsamaktadır. Kontrolörler, uygun ayırma standartlarını uygulayarak çarpışma riskini ortadan kaldırır, tırmanma ve iniş izinlerini verir, hava durumu ve trafik bilgilerini paylaşırlar. Ayrıca, uçuş ekibinin taleplerini değerlendirerek optimum uçuş seviyelerini sağlar ve bekleme sürelerini azaltarak uçuşun sürekliliğini desteklerler (Aditya vd., 2024; Vossen vd., 2011;).

### 2.1.2. Hava Trafik Akış Yönetimi (ATFM)

ATFM'in amacı, hava trafiğinin kapasiteyle uyumlu biçimde akmasını sağlamak ve yoğunluk kaynaklı gecikmeleri en aza indirmektir. Bu kapsamda, belirli sektörlerde aşırı trafik birikiminin önüne geçmek için uçuş zamanları (Calculated Take-off time- CTOT), yönlendirme kısıtlamaları veya kapasite artırıcı sektör planlamaları yapılmaktadır (Chen vd., 2024; Xu vd., 2020). Bu süreç, mevcut durumun ötesine geçerek geleceğe yönelik planlamalar içerdiği için “*pretaktik*” bir yaklaşımdır. FAA (2025) akış yönetimi ve hava trafik kontrolü arasındaki farkı vurgulayarak, kontrolörlerin taktiksel müdahalelerde bulunduğunu, akış yöneticilerinin ise sistemin bütünsel performansını optimize eden stratejik kararlar aldığını belirtmektedir.

### 2.1.3. Hava Sahası Yönetimi (ASM)

ASM sınırlı bir kaynak olan hava sahasının sivil ve askerî kullanıcılar arasında etkin biçimde tahsis edilmesini hedeflemektedir (Galotti, 2019; García-Heredia vd., 2019). Bu kapsamda hava yolları, irtifa seviyeleri, kontrol bölgeleri ve geçici tahsisli sahalar belirlenmektedir. ASM, yalnızca yapısal düzenleme değil, aynı zamanda esnek hava sahası kullanımı (Flexible Use of Airspace – FUA) prensibini de içermekte ve böylece sivil-asker koordinasyonu güçlendirerek hava sahasının toplam kapasitesi artırılmaktadır (Budd, 2020).

## 3. Hava Trafik Yönetiminde Yapay Zekâ

Son yıllarda hava trafiğindeki artış, hava sahasının karmaşıklığı ve iklim kriziyle bağlantılı çevresel hedefler, ATM alanında YZ ve ML uygulamalarını

stratejik bir gereklilik hâline getirmiştir. YZ, hem emniyet ve kapasiteyi artırmak hem de gecikmeleri, yakıt tüketimini ve emisyonları azaltmak için kullanılan temel bir dönüştürücü teknoloji olarak konumlanmaktadır. Alanyazındaki güncel derleme çalışmaları, YZ yöntemlerinin ATM'in tüm ana alt alanlarında artan ölçüde benimsendiğini ortaya koymaktadır (Abdillah vd., 2024; Tang vd., 2022).

EASA'nın yol haritasında ATM/ANS alanında MÖ tabanlı uygulamaların “önemli konuşlandırmalar” düzeyine ulaştığı ve operasyonlarda YZ destekli asistanların hâlihazırda kullanılmaya başlandığı vurgulanmaktadır (EASA, 2024a). Bu asistanlar, özellikle hava trafik kontrolörleri ve akış yönetim pozisyonlarına yönelik karar destek işlevleri sunmakta ve dört boyutlu (4D) uçuş profili tahminlerini iyileştirerek yerel ve ağ düzeyindeki durum değerlendirmelerinin doğruluğunu artırmaktadır. Sektör konfigürasyonları, trafik yoğunluğu, meteorolojik koşullar ve hava sahası kısıtlamaları gibi çoklu faktörlerin YZ/DL modelleri ile birlikte işlenmesi, uçuş rotalarının dinamik olarak optimize edilmesini ve uçuş süresinin, yakıt tüketiminin ve işletme maliyetlerinin azaltılmasını mümkün kılmaktadır (EASA, 2024a; SESAR JU, 2025a). Bu tür optimizasyonlar, gecikmeleri ve ortaya çıkabilecek diğer sorunları azaltarak hem ağ kapasitesini artırmakta hem de çevresel etkiyi sınırlamaya katkı sağlamaktadır.

YZ'nin ATM'deki en görünür kullanım alanlarından biri trafik akış tahmini ve optimizasyonudur. DL modelleri, özellikle uzun-kısa süreli bellek (LSTM) yapıları, sektörel ve ağ düzeyinde trafik akışı tahmini, yoğunluk analizi ve slot planlamasında kullanılmaktadır. Bu sayede daha isabetli talep-kapasite dengesi kurulabilmektedir (Da Cruz, 2024; Gui vd., 2020; Kaczorowski, 2025; Moreno vd., 2024; Taylor vd., 2024;). Diğer bir kritik alan çakışma tespiti ve çözümüdür. Pekiştirmeli öğrenme ve çok-etmenli sistemler karmaşık ve yüksek yoğunluklu hava sahalarında otomatik çakışma algılama ve çözüm stratejileri geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu durum, kontrolörlerin taktik kararlarına destek veren öngörücü araçlar ortaya çıkartmaktadır (Guleria vd., 2024; Nilsson vd., 2025; Papadopoulos vd., 2023). Dand vd. (2019) ile Ortner vd. (2022), LSTM tabanlı dijital asistanların hem çatışma öngörüsü hem de hava durumuna bağlı kapasite kayıplarının yönetimi açısından denetleyici iş yükünü azalttığını göstermektedir.

YZ aynı zamanda denetleyici destek sistemlerinin kapsamını ve doğasını dönüştürmektedir. Farklı araştırmalarda, denetleyici iş yükü, dikkat düzeyi ve performansını değerlendirmek amacıyla göz izleme gibi fizyolojik göstergelerin ve operasyonel verilerin birlikte analiz edildiği ve bu analiz

sonuçlarıyla görev dağılımı, şerit sıralama veya sektör açma-kapama kararlarının uyarlanabildiği gösterilmiştir (Liu vd., 2024; Pang vd., 2023). YZ tabanlı sistemler, gerçek zamanlı karar destek araçlarına gömülü şekilde potansiyel çakışmalar, kapasite aşımı veya anormal durumlar için uyarılar ve çözüm önerileri sunmaktadır. Bu öneriler, denetleyicinin alışkın olduğu prosedürlerle uyumlu seçenekler hâlinde arayüze yansıtılmaktadır (EASA, 2024a). Bununla birlikte, Degas vd. (2022) ile Tang vd. (2022) ATM'de YZ sistemlerinin kalıcı olarak benimsenebilmesi için XAI yaklaşımlarının, otorite ve son kullanıcı tarafından güvenilirliğin temel koşulu hâline geldiğini vurgulamaktadır.

Çevresel sürdürülebilirlik boyutu, YZ tabanlı ATM uygulamalarının stratejik önemini daha da artırmaktadır. SESAR'ın Avrupa ATM Ana Planı CO<sub>2</sub> verimsizliklerinin yaklaşık %9'luk bir kısmının ATM iyileştirmeleriyle azaltılabileceğini ve bunun büyük ölçüde optimizasyon odaklı YZ çözümlerine dayanacağını öngörmektedir (SESAR JUa, 2025). 2050 perspektifinde yolcu sayısında beklenen %57'lik artış hidrojen ve elektrikli uçaklar, insansız hava araçları ve yüksek irtifa operasyonları ile birlikte hava sahasını hem yoğun hem de heterojen bir yapıya dönüştüreceği öngörülmektedir. Bu tablo, ağ genelinde her bir uçuşun bireysel hava aracı performansı, kullanıcı tercihleri, yerel koşullar ve meteoroloji dikkate alınarak *“sistematik ve son derece hassas”* biçimde optimize edildiği, yüksek otomasyon düzeyine sahip bir ATM mimarisini gerektirmektedir (SESAR JU, 2025a). Bu vizyonda, insan operatörler ağırlıklı olarak, otomasyonun yönetemediği karmaşık ve beklenmedik durumlara odaklanan *“üst düzey karar verici”* rolüne evrilmektedir.

Bu dönüşüm, insan-makine iş birliğinin doğasını kökten değiştirmekte ve literatürde insan-YZ takımları (Human-AI Teaming, HAT) kavramıyla ele alınmaktadır. IFATCA'nın çalışmalarında, iş birliği ile birlikte çalışma arasında ayırım yapılarak etkili bir HAT yapısında YZ sisteminin durumsal farkındalık unsurlarını paylaşabilen, anormal durumları tanıyan, kullanıcının çözümünü değerlendirebilen ve gerektiğinde müzakereye girebilen uyarlanabilir bir ortak olarak tasarlanması gerektiği vurgulanmaktadır (IFATCA, 2025a). EASA'nın HAT için ortaya koyduğu tasarım ilkeleri de YZ sistemlerinin kullanıcıdan çapraz kontrol talep edebilmesi, reddedilen önerilere uyum sağlayabilmesi ve zaman-kritik durumlarda insanın hatalı kararlarını tespit ederek destek sağlayabilmesi gibi işlevleri içermektedir. Bu yaklaşım, denetleyicinin sistem üzerindeki otoritesini korurken YZ'nin *karar destek* rolünü pekiştiren insan-merkezli bir tasarımı zorunlu kılmaktadır.



Diğer taraftan, YZ'nin ATM'ye entegrasyonu beraberinde önemli emniyet, etik ve hukuki tartışmaları getirmektedir. IFATCA YZ/ML tabanlı sistemlerin yalnızca karar destek aracı olarak kullanılmasını, kontrolör kararının yerine geçmemesini ve otomasyon düzeyi arttıkça denetleyicinin sorumluluğunun özellikle müdahale edebilme kapasitesiyle orantılı biçimde yeniden tanımlanmasını savunmaktadır (IFATCA, 2025a). YZ sisteminin hatalı ya da öngörülemez davranışlarda bulunabilme olasılığı, sorumluluğun işletmeci, üretici, yazılım geliştirici ve denetleyici arasında nasıl paylaştırılacağına ilişkin yeni sorular doğurmaktadır. Bu çerçevede, hem EASA'nın YZ yol haritasında hem de IFATCA dokümanlarında, YZ sistemlerinin sertifikasyonu, test-doğrulama süreçleri, açıklanabilirlik ve sorumluluk zincirinin açık biçimde tanımlanması kilit başlıklar olarak öne çıkmaktadır (Degas vd., 2022; IFATCA, 2025a).

YZ'nin ATM'deki ikinci önemli rolü, eğitim ve simülasyon ortamlarının dönüştürülmesidir. IFATCA (2025b), YZ'nin simülatörlerde konuşlandırılmasının, konuşma tanıma destekli sahte pilot uygulamaları, gerçek trafik verilerine dayalı senaryo üretimi, performans analitiği ve doğal dilde sonuç raporlama gibi fonksiyonlarla hem eğitim kalitesini artırabileceğini hem de eğitmen iş yükünü azaltabileceğini belirtmektedir. Bununla birlikte, bu tür uygulamalar için yüksek hacimli ve nitelikli veri ihtiyacı, veri gizliliği ve maliyet öngörüsündeki belirsizlikler önemli kısıtlar olarak ortaya çıkmaktadır. Yine de YZ destekli simülasyonlar hava trafik kontrolörlerinin YZ araçlarıyla birlikte çalışmaya hazırlanmasında ve yeni yetkinliklerin kazandırılmasında vazgeçilmez bir bileşen olarak görülmektedir.

Tüm bu gelişmeler, hava trafik kontrolörlüğü mesleğinin yetkinlik profilini de yeniden şekillendirmektedir. Klasik olarak öne çıkan hızlı karar verme, mekânsal farkındalık, önceliklendirme ve çoklu görev yönetimi gibi becerilerin yanı sıra veri analizi ve görselleştirme, sistem ve tasarım odaklı düşünme, veri temelli karar verme, sürekli öğrenme ve gelişmiş iletişim becerileri, YZ ile birlikte çalışabilmek için kritik hâle gelmektedir (IFATCA, 2025a). Öte yandan, yoğun otomasyonun beceri kaybı (skill fade) ve iş doyumu üzerindeki olası olumsuz etkileri de vurgulanmakta ve YZ sistemlerinin denetleyici iş doyumunu ve mesleki özerkliği destekleyecek şekilde tasarlanması gerektiği ifade edilmektedir. Bu nedenle, ICAO'nun denetleyici yeterlilik çerçevesi, beklenmedik ve acil durumların yönetimi gibi insanın vazgeçilmez rolünü öne çıkaran alanlarda güncellenmekte ve YZ ile desteklenen bir ortamda dahi insan-merkezli emniyet kültürünün korunması hedeflenmektedir.

ATM’de YZ, hem operasyonel hem çevresel hem de sosyo-teknik boyutlarıyla çift yönlü bir rol oynamaktadır: (1) bir yandan kapasite, emniyet ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için benzersiz olanaklar sunarken, (2) diğer yandan insan–makine etkileşimi, açıklanabilirlik, sorumluluk ve eğitim alanlarında yeni riskler ve araştırma soruları doğurmaktadır. Alanyazındaki araştırmalar (Degas vd., 2022; Tang vd., 2022), bundan sonraki çalışmaların yalnızca daha güçlü modeller geliştirmeye değil, aynı zamanda belirli ATM görevleri için hangi mimarinin neden uygun olduğuna dair açık gerekçeler sunmaya ve YZ çözümlerini denetleyici perspektifinden değerlendirerek kabul edilebilir, güvenilir ve insan-merkezli bir ATM ekosistemi inşa etmeye odaklanması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, ATM’de YZ’nin geleceği, teknolojik kapasitenin ötesinde, düzenleyici çerçeveler, örgütsel adaptasyon ve insan faktörleri alanındaki bütüncül yaklaşımlara bağlı olarak şekillenecektir.

#### 4. SESAR (Single European Sky ATM Research) Girişimleri ve Yapay Zekâ Uygulamaları

Avrupa’da ATM’de bütüncül bir modernizasyon hedefleyen Tek Avrupa Hava Sahası (Single European Sky- SES) girişimi, Avrupa Komisyonu tarafından 2004 yılında ATM’deki parçalı yapıyı azaltmak ve performansı artırmak amacıyla oluşturulan kapsamlı bir politika çerçevesidir. SES ekonomik performans, hava sahası organizasyonu ve ağ yönetimi, teknolojik inovasyon, emniyet ve insan faktörleri olmak üzere beş temel faktöre dayanmaktadır (SESAR JU, 2025a). SES kapsamındaki teknolojik inovasyonların koordinasyonundan ise SESAR (Single European Sky ATM Research) sorumludur ve SES’in diğer tüm sütunlarını destekleyen teknolojik çekirdeği oluşturmaktadır.

SESAR, Avrupa’da yüksek performanslı, dijitalleşmiş, standartlaştırılmış ve birlikte çalışabilir bir ATM altyapısı geliştirmeyi amaçlayan Dijital Avrupa Hava Sahası (Digital European Sky) vizyonunu yürütmektedir. Bu modernizasyon süreci, tanımlama, geliştirme ve yaygınlaştırma olmak üzere döngüsel bir inovasyon yapısı üzerine kuruludur.

- Tanımlama aşaması, uzun vadeli ATM dönüşümünü belirleyen Avrupa ATM Ana Planının hazırlanmasını içermektedir.
- Geliştirme aşaması, SESAR Joint Undertaking tarafından yürütülen araştırma, geliştirme ve doğrulama faaliyetlerini kapsamaktadır.
- Yaygınlaştırma aşaması ise SESAR Deployment Manager tarafından yönetilmekte olup, olgunlaşmış SESAR çözümlerinin

standardizasyonu, sertifikasyonu ve operasyonel sistemlere entegrasyonunu içermektedir.

SESAR'ın geniş kapsamlı modernizasyon faaliyetleri EASA, EUROCONTROL/Network Manager, European Defence Agency, EUROCAE, SESAR 3 JU ve SESAR Deployment Manager gibi kurumsal paydaşlarla koordineli bir şekilde yürütülmektedir. Bu paydaşlar, düzenleyici uyum, hava sahası ağı yönetimi, sivil-askeri koordinasyon ve standardizasyon alanlarında kritik roller üstlenmektedir (SESAR JU, 2025a). Avrupa Birliği, ICAO ve küresel paydaşlarla iş birliği yaparak ATM modernizasyonunun uluslararası standartlarla uyumlu hale gelmesini ve küresel düzeyde birlikte çalışabilirliğin sağlanmasını hedeflemektedir.

Tarihsel olarak, Avrupa'daki gecikme krizleri –özellikle 1980'ler ve 1990'lardaki yoğunluk artışı– ATM alanında kurumsal ve teknolojik dönüşüm ihtiyacını ortaya koymuş; bu bağlamda EUROCONTROL bünyesinde *Central Flow Management Unit*'in kurulması, dikey ayırma standartlarının azaltılması (Reduced Vertical Separation Minima- RVSM) ve ilk saha navigasyon (RNAV) uygulamaları önemli kapasite iyileştirmeleri sağlamıştır (Bolić ve Ravenhill, 2021). Artan trafik ve gecikmeler, 2000'li yıllarda SES girişimini, 2008'de ise kapsamlı bir Ar-Ge çerçevesi olarak SESAR programını ortaya çıkarmıştır. SESAR, ATM araştırmalarının dağınık yapısını ortadan kaldırmayı, yinelenen Ar-Ge yatırımlarını azaltmayı ve tüm Avrupa için ortak bir ATM vizyonu geliştirmeyi hedeflemiştir.

Bu çerçevede SESAR bir girişim olarak, uzaktan kule (remote tower), zaman temelli ayırma (Times Based Separation- TBS), gelişmiş yaklaşma yönetimi (Arrival Manager- AMAN), sistem çapında bilgi yönetimi (System Wide Information Management- SWIM) tabanlı bilgi yönetimi, serbest rota operasyonları (Free Route Airspace- FRA), sanal merkezler, gelişmiş meteoroloji, uydu tabanlı iletişim ve küresel uygu seyrüsefer sistemi (Global Navigation Satellite System- GNSS) tabanlı yaklaşımlar gibi kritik teknolojilerin olgunlaştırılmasını ve Avrupa çapında yaygınlaştırılmasını sağlamıştır. 2025 Kasım ayı SESAR Proje Web Portalı'nda 154 projenin tamamlandığı, 79 projenin devam ettiği ve 300'den fazla lokasyonda SESAR çözümlerinin uygulamaya geçtiği raporlanmaktadır (SESAR JU, 2025b). Ayrıca, havaalanı operasyonlarının bütüncül optimizasyonu, kullanıcı odaklı uçuş planlaması ve işbirlikçi karar verme modelleri de projenin temel bileşenleri arasındadır (Mannino vd., 2021; Drupka vd., 2018; Karahasanovic, 2019).

SESAR Master Planının güncel versiyonunda, 2035'e kadar tamamlanması hedeflenen 10 Stratejik Yaygınlaştırma Hedefi (Strategic

Deployment Objectives - SDO) tanımlanmıştır. Bu hedefler arasında pist/taksi yolu ihlallerinin azaltılmasından çevresel etkinliğin artırılmasına, kapasite ve ölçeklenebilirliğin iyileştirilmesinden yenilikçi hava araçlarının entegrasyonuna kadar geniş bir yelpaze yer almaktadır. Hava-yer bağlantısı ile iletişim, seyrüsefer ve gözetim sistemlerine ilişkin dönüşümler de bu hedeflerin temel bileşenleri arasındadır (SESAR JUa, 2025).

SESAR kapsamında yürütülen araştırmalarda YZ ve ML tabanlı teknolojiler, ATM modernizasyonunun en kritik bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Tuncal (2025b) tarafından 232 proje dokümanı üzerinde yapılan içerik analizi, doğrudan YZ/ML kullanan 37 proje bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu projeler dört tematik alanda yoğunlaşmaktadır:

1. Durumsal Farkındalık ve İnsan-YZ İş Birliği: Hava trafik kontrolörlerinin bilişsel yükünü azaltan, anomali tespiti gerçekleştiren, dikkat yönetimini iyileştiren ve insan-merkezli karar destek sistemleri geliştiren YZ yaklaşımları bu kategoridedir.
2. Uçuş Yörünge Tahmini, Trafik Akışı Yönetimi ve Ağ Optimizasyonu: Derin öğrenme tabanlı uçuş yörünge tahmini modelleri, karmaşık ağ optimizasyonu algoritmaları, dinamik hava sahası yapılandırması ve talep-kapasite dengelemesi bu araştırma alanının merkezindedir.
3. İletişim, Seyrüsefer, Gözetim (CNS) ve Emniyet İzleme Otomasyonu: Meteoroloji tahminlerinde YZ kullanımı, CNS sistemlerinin kestirimci bakımı, uçuş emniyetinde erken uyarı sistemleri ve operasyonel anomali tespiti SESAR'ın emniyet odaklı YZ çalışmalarını oluşturmaktadır.
4. YZ Entegrasyonu ve Etik Yönetişim: ATM'de algoritmik şeffaflık, model doğrulama, insan-odaklı otomasyon seviyeleri ve etik yönetim mekanizmaları üzerine yapılan SESAR projeleri geleceğe dönük dönüşümün temelini oluşturmaktadır.

SESAR'ın teknoloji portföyü yalnızca mevcut hava araçları için değil, aynı zamanda geleceğin hava sahası kullanıcıları için de *-örneğin, insansız hava araçları ve yüksek irtifa platformları için de-* birlikte çalışabilir, öngörülebilir ve esnek bir ATM altyapısı sunmaktadır (Barbera vd., 2019; Gargiulo vd, 2024; Pierattelli vd., 2025). Bu yönüyle SESAR, YZ temelli ATM çözümlerinde insan-makine iş birliğini optimize etmeyi amaçlayan uluslararası ölçekte öncü bir çerçeve sunmaktadır.

#### 4.1. SESAR (Single European Sky ATM Research) Girişimlerinde Yapay Zekâ Projeleri

Bu bölümde, SESAR'ın güncel web proje portalında (SESAR JU, 2025b) “*Artificial Intelligence for Aviation*” başlığı altında listelenen YZ odaklı projeler ayrıntılı biçimde açıklanacaktır. Söz konusu projeler, ATM operasyonlarının dijitalleşmesi, insan–YZ iş birliğinin geliştirilmesi, tahminleme ve durum farkındalığının artırılması, konuşma tanıma ve otomasyon süreçlerinin iyileştirilmesi gibi çok katmanlı hedeflere yönelik yenilikçi modeller sunmaktadır. Her bir proje, kapsamı, kullanılan yapay YZ/ML yöntemleri, operasyonel amaçları, insan faktörleri açısından etkileri ve ATM ekosistemine katkıları bakımından akademik bir çerçevede ele alınacaktır.

Bu bölümde incelenecek projelere ait temel tanımlayıcı bilgiler Tablo 1’de gösterilmektedir. Bu tabloda her projenin kimlik numarası, proje türü, yürütülme durumu, proje süresi gibi temel özellikleri yer almaktadır. Tabloda sunulan bilgiler, 2025 Kasım ayı itibarıyla SESAR JU (2025b)’nun güncel proje portalından alınmış olup, YZ projelerinin kapsamı ve çeşitliliğine ilişkin bütüncül bir görünüm sağlamayı amaçlamaktadır.

*Tablo 1: YZ İlişkili SESAR Projeleri*

| Proje Adı | Proje Türü            | Yürütülme Durumu | Proje Süresi            |
|-----------|-----------------------|------------------|-------------------------|
| DIALOG    | Keşifsel Araştırma    | Devam Ediyor     | 2024-09-01 > 2027-02-2  |
| ORCI      | Keşifsel Araştırma    | Devam Ediyor     | 2024-06-01 > 2026-11-30 |
| AWARE     | Keşifsel Araştırma    | Devam Ediyor     | 2024-06-01 > 2026-11-30 |
| SynthAIR  | Keşifsel Araştırma    | Devam Ediyor     | 2023-09-01 > 2026-02-28 |
| JARVIS    | Endüstriyel Araştırma | Devam Ediyor     | 2023-06-01 > 2026-05-31 |
| DARWIN    | Hızlandırılmış Proje  | Devam Ediyor     | 2023-06-01 > 2026-05-31 |
| ASTRA     | Keşifsel Araştırma    | Devam Ediyor     | 2023-09-01 > 2026-02-28 |
| TRUSTY    | Keşifsel Araştırma    | Devam Ediyor     | 2023-09-01 > 2026-02-28 |

#### **4.1.1. DIALOG** (*Deciphering Intents of Air traffic controllers, workLOad assessment and Gaze*)

DIALOG projesi, ATM’de insan–YZ iş birliğini güçlendirmeyi amaçlayan yenilikçi bir SESAR araştırma girişimi olarak tasarlanmıştır. Projenin temel odağı, hava trafik kontrolörleri ile YZ tabanlı sistemler arasında bağlama duyarlı, güvenilir ve öngörüsül bir iş birliği mekanizması geliştirmektir. Bu kapsamda DIALOG, konuşma tanıma teknolojisi aracılığıyla pilot–kontrolör iletişimlerini analiz eden, kontrolörün niyetini ve operasyonel hedeflerini çıkarımsal modellerle belirleyen ve ML algoritmalarını kullanarak kontrolörün iş yükü, dikkat seviyesi, bilişsel durumu ve trafik bağlamını gerçek zamanlı

olarak değerlendiren bir YZ destekli Takım Asistanı (Teamwork Assistant) geliştirmektedir. Projedeki sistem, kontrolörün anlık bilişsel durumuna, dikkat dağılımına, trafik yoğunluğuna ve operasyonel bağlama göre ne tür bir desteğin ne zaman sağlanması gerektiğine karar verebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Böylece YZ, yalnızca otomasyon düzeyini artıran bir araç değil, kontrolörün operasyonel ihtiyaçlarını önceden öngörebilen ve kişiye özgü destek sunabilen bir takım arkadaşı niteliği kazanmayı hedeflemektedir. Proje, bilimselaçıdan insan-YZ takımlarından niyet modelleme, bağlama duyarlı çıkarım yapma ve karşılıklı durumsal farkındalığın nasıl oluşturulacağına ilişkin yeni bir çerçeve geliştirmeyi amaçlamaktadır. Teknolojik açıdan ise ses, fizyolojik sinyaller ve davranışsal ölçümler üzerinden kontrolörün durumunu gerçek zamanlı izleyebilen, açıklanabilir ve insan merkezli bir dijital asistan ortaya koymaktadır. Toplumsal ve operasyonel açıdan DIALOG, ATM'de gelişmiş insan-AI iş birliği (HAT) uygulamalarının benimsenmesini teşvik ederek emniyeti, verimliliği ve kapasite kullanımı etkinliğini artırmayı hedeflemekte, aynı zamanda YZ tabanlı sistemlere duyulan güveni operasyonel düzeyde güçlendirmektedir. Projenin kamuya açık çıktılarına bakıldığında, operasyonel bağlamanın tanımlandığı OSED dokümanları (D1.3), sistemin temel fonksiyonel gereksinimlerini belirleyen FRD (D1.6) ve niyet çıkarımı çerçevesini açıklayan kapsamlı raporun (D1.7) insan-AI iş birliği tasarımının temelini oluşturduğu görülmektedir. Kontrolörün iş yükü ve dikkat durumunu belirlemeye yönelik fizyolojik ve davranışsal veri işleme yöntemlerini içeren rapor (D2.1), kullanıcı odaklı tasarım ilkeleri doğrultusunda insan-AI etkileşimi için geliştirilen prototip ve tasarım çözümleri (D3.1) ve doğrulama çalışmalarının metodolojik planını oluşturan ERP (D4.1), sistemin operasyonel geçerliliğine yönelik temel aşamaları temsil etmektedir. Ayrıca hava trafik kontrolörü-AI ekip çalışması için oluşturulan kapsamlı yönergeler ve tasarım desenleri (D4.2), doğrulama çalışmalarından elde edilen bulguları bir araya getiren araştırma raporu (D4.3), veri yönetimi, etik süreçler, iletişim ve yaygınlaştırma faaliyetleri ile ekonomik değerlendirmeye ilişkin nihai dokümanlar (D5.3, D5.5, D6.3, D6.5, D6.6) projenin şeffaflığını ve sürdürülebilirliğini sağlayan önemli çıktılar olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamlı çalışma, ATM'de YZ tabanlı takım asistanlarının nasıl geliştirileceğine ve operasyonel ortama nasıl entegre edileceğine ilişkin önemli bilimsel ve pratik katkılar sunmaktadır (DIALOG, 2025).

#### 4.1.2. ORCI (*Optimized Runway Centerline Interception*)

ORCI projesi, terminal manevra sahalarında (TMA) artan trafik yoğunluğunun hava trafik kontrolörleri üzerindeki bilişsel yükünü azaltmak



ve yaklaşma trafiğinin yönetiminde bütüncül bir verimlilik artışı sağlamak amacıyla YZ temelli karar destek sistemleri geliştirmeyi hedefleyen ileri düzey bir araştırma girişimidir. Avrupa Birliği tarafından desteklenen proje, özellikle orta, yüksek ve çok yüksek trafik yoğunluğu dönemlerinde pist kullanım verimliliğini ve yaklaşma aşamasındaki operasyonel dayanıklılığı artırmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda ORCI, gözetim verileri ile hava trafik kontrol süreçlerinden türetilen operasyonel veriler üzerinde eğitilecek bir YZ modeline dayanan gelişmiş bir otomasyon aracı geliştirmeyi planlamaktadır. Projenin nihai amacı, bu YZ tabanlı aracın gösterimini ve geçerleme çalışmalarını gerçekleştirerek, yaklaşma trafiği yönetiminde performansı artıran somut ve uygulanabilir çözümler sunmaktır. Günümüzde TMA içindeki yaklaşma trafiğinin yönetimi, trafik hacminin artmasıyla birlikte giderek daha karmaşık bir hâl almakta ve kontrolörler için oldukça yüksek iş yükü yaratmaktadır. Yüksek yoğunlukta uçakların son yaklaşma hattına optimum aralıklarla sıralanması zorlaşmakta ve bu durum kapasite kayıplarına, hava sahası verimliliğinin azalmasına, pist kullanım etkinliğinin düşmesine ve operasyonel emniyet açısından ek risklerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, performans özellikleri geleneksel uçaklardan farklı olan yeni hava aracı tiplerinin hava sahasına entegre edilmesi, kapasite ve verimlilik konusundaki mevcut zorlukları daha da artırmakta ve kontrolör görevini çok boyutlu bir karmaşıklığa taşımaktadır. Bu kapasite sorunları, birden fazla havaalanı aynı anda etkilediğinde, tüm ATM ağında zincirleme gecikmelere ve operasyonel dengesizliklere yol açabilmektedir. Bu bağlamda ORCI, yaklaşma aşamasındaki karar verme süreçlerini desteklemek üzere yeni bir YZ Tabanlı Karar Destek Aracı (Decision Support Tool- DST) geliştirmeyi amaçlamaktadır. Söz konusu DST, özellikle son yaklaşma sektörlerinde görev yapan kontrolörlere, ardışık gelişlerde optimum ayrımı sağlayabilmek için vektörleme talimatlarının ne zaman verilmesi gerektiğine ilişkin kritik operasyonel bilgiler sunacaktır. Böylece YZ, kontrolörün bilişsel yükünü azaltmakla kalmayıp, karmaşık trafik koşulları altında dahi daha öngörülebilir, verimli ve emniyetli bir geliş trafiği düzeni oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Proje kapsamındaki prototip gösterimleri ve doğrulama faaliyetleri, çözümün operasyonel uygulanabilirliğini değerlendirmeyi ve ATM modernizasyonuna somut katkılar sunmayı hedeflemektedir (ORCI, 2025).

#### **4.1.3. AWARE** (*Achieving Human-machine Collaboration With Artificial Situational Awareness*)

AWARE projesi, insan-makine etkileşiminin giderek karmaşıklaştığı ATM bağlamında, YZ destekli yapay durum farkındalığı (Artificial



Situational Awareness- ASA) sistemleri geliştirerek insan merkezli, karşılıklı anlayışa dayalı bir iş birliği mekanizması oluşturmayı hedefleyen yenilikçi bir araştırma girişimidir. Günümüzde insanlar kullandıkları sistemlerin kapasite, sınırlılık ve işleyişini anlamak üzere kapsamlı biçimde eğitilirken; makineler insan niyetini, hedeflerini ve bağlamsal davranışlarını anlamada büyük ölçüde yetersiz kalmaktadır. Özellikle yüksek görev karmaşıklığı ve zaman baskısının belirleyici olduğu hava trafik kontrol ortamında makinelerin insanı algılayabilen, ihtiyaçlarını öngörebilen ve uygun yanıtlar üretebilen sistemlere dönüşmesi, emniyetli ve verimli bir operasyonun sürdürülebilmesi açısından kritik hale gelmiştir.

Bu çerçevede AWARE projesi, hava trafik kontrolörlerinin performansını desteklemek ve artan görev yükü altında bilişsel talepleri hafifletmek amacıyla uyarlanabilir ve insan-merkezli karar destek sunan bir YZ Asistanı geliştirmeyi amaçlamaktadır. Projenin teknik hedefleri, kontrolörün görsel dikkatini diğer bilişsel ve davranışsal girdilerle birlikte izleyip bunları mevcut trafik bağlamında anlamlandıracak bir altyapı oluşturmayı, durum farkındalığı kaybının farklı seviyelerini tespit edecek yöntemler geliştirmeyi (örneğin seçici dikkat yetersizliği, beş aşamalı durum farkındalığının bozulması veya tamamen döngü dışına çıkma durumu) ve geliştirilecek yapay durum farkındalığı sisteminin diğer ATM rollerine ve sistemlerine (örneğin, Air Traffic Controller Extended Planning, FMP) entegre edilebilmesine yönelik birlikte çalışabilirlik gereksinimlerini tanımlamayı kapsamaktadır.

Projenin genel amacı, gelişmiş bir yapay durum farkındalığı çözümü üzerine inşa edilen ve ATC operasyonlarını desteklemek üzere tasarlanmış bir YZ Asistanı uygulamasını geliştirmektir. Bu doğrultuda proje, yapay durum farkındalığı çözümünü Teknoloji Hazırlık Seviyesi 2'ye (Technological Readiness Level - TRL2) ulaştırmayı, ASA sisteminin mevcut yeteneklerini geliştirmeyi, kontrolörün niyetinin değerlendirilmesine yönelik yöntemler geliştirmeyi, ASA bileşenlerinin yeteneklerini sergileyen bir YZ Asistanı prototipini insan-içinde-döngü (Human-In-The-Loop - HITL) simülasyonlarıyla test etmeyi ve kontrolörü desteklemek amacıyla uyarlanabilir destekleyici veya doğrudan eylemlerin seçimi ve uygulanmasına yönelik bir yöntem oluşturmayı hedeflemektedir (AWARE, 2025).

#### 4.1.4. SynthAIr

SynthAIr projesi, ATM otomasyonu ileri bir seviyeye taşımayı amaçlayan ve YZ temelli sentetik veri üretim yöntemlerini geliştiren yenilikçi bir araştırma girişimidir. SESAR 3 Ortak Girişimi tarafından fonlanan proje, ATM alanında uzun süredir karşılaşılan üç temel soruna **veri kıtlığı**,

**gizlilik gereklilikleri ve operasyonel karmaşıklık** yönelik bütüncül bir çözüm yaklaşımı sunmaktadır. Gerçek operasyon verilerinin mahremiyet gerekçeleriyle paylaşılamaması, nadir olayların yetersiz gözleme dayalı olması ve farklı havaalanı/ANSP sistemlerinin uyumsuz veri yapıları gibi durumlar ATM’de ML ve YZ uygulamalarının gelişimini sınırlayan temel engeller olarak öne çıkmaktadır. SynthAIr, bu engelleri aşmak üzere altı kritik operasyonel kullanım senaryosunda doğrulanan dokuz adet üretken model geliştirmekte ve sentetik veri üretiminin ATM operasyonları boyunca emniyetli, mahremiyeti koruyan ve yüksek temsiliyet gücüne sahip bir araştırma altyapısı sunabileceğini ortaya koymaktadır.

Projenin ilk kullanım senaryosu olan UC1 (Uce Case1), uçakların kapıya yanaşma (In-Block) ile geri itilme veya taksiye başlama (Off-Block) arasındaki sürenin tahminine odaklanmakta ve birincil havaalanı gecikmelerinin %40’ından fazlasının dönüş süreçlerinden kaynaklandığına dikkat çekmektedir. Bu kapsamda üretilen sentetik veriler yolcu indirme-bindirme, ikram, temizlik, yakıt ikmali ve bagaj işlemleri gibi yer hizmetleri süreçlerinin analizini mümkün kılarak operasyonel gizliliği ihlal etmeden süreç optimizasyonu sağlamaktadır. UC2 kapsamında uçuş gecikmelerinin tahmini ele alınmakta ve bakım, temizlik gibi birincil gecikmeler ile önceki uçuşlardan aktarılan zincirleme gecikmelerin etkileri dikkate alınmaktadır. 2023 yılı ilk çeyreğinde Avrupa’daki ortalama uçuş gecikmesinin 14,5 dakikaya ulaştığı düşünüldüğünde, sentetik verilerin özellikle havaalanları arasındaki yetersiz gerçek zamanlı veri paylaşımını tamamlayıcı bir işlev üstlendiği görülmektedir. UC3, yolcu akış tahminine odaklanarak, güvenlik kontrolü gibi terminal süreçlerinde yolcu davranışlarının öngörülemezliğinin gecikmelerin %50’sinden fazlasını etkilediğini göstermekte ve yolcu gizliliğini koruyarak gerçekçi sentetik veri üretimi sağlamaktadır. UC4 ise ATM simülasyonları için sentetik trafik üreticisi geliştirmekte; yeni operasyonel konseptlerin, hava sahası tasarımlarının ve kontrol stratejilerinin test edilmesinde kritik öneme sahip uçuş yörüngelerini uzamsal-zamansal ilişkileri koruyan biçimde üretmektedir. Bu yetenek, hızlı zamanlı (fast-time) ve gerçek zamanlı simülasyonların daha gerçekçi ve kapsamlı bir veri temeliyle yürütülmesini mümkün kılmaktadır. UC5 kapsamındaki uçuş yönlendirme (diversion) tahmini, nadiren gerçekleşen ancak operasyonel açıdan yüksek etkili olayları (meteorolojik koşullar, tıbbi acil durumlar, teknik arızalar gibi) ele almakta ve bu tür düşük frekanslı olayların modellenmesini kolaylaştırmak için sentetik senaryolar oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, alternatif rota oluşturma ve acil durum planlamasına yönelik daha dayanıklı bir karar destek altyapısı geliştirilmesini desteklemektedir. Son olarak UC6, kamuya açık Avrupa uçuş çizelgesi verilerinin sınırlılığı nedeniyle ML

uygulamalarında önemli veri boşlukları yaratan planlama süreçlerine çözüm üretmekte; stratejik uçuş planlaması ve kaynak tahsisine yönelik gerçekçi sentetik çizelgeler oluşturarak varış-kalkış gecikme tahmin modellerinin performansını artırmayı hedeflemektedir (SynthAIR, 2025).

#### 4.1.5. JARVIS (*Just a rather very intelligent system*)

JARVIS projesi, havacılık ekosisteminin dijitalleşme ile birlikte geçirdiği köklü dönüşümün bir parçası olarak, otomasyon ve YZ uygulamalarının operasyonel süreçlere entegrasyonunu sistematik biçimde ele alan kapsamlı bir araştırma ve geliştirme girişimidir. Dijitalleşmenin uçuş operasyonlarından ATM'e ve havaalanı süreçlerine kadar tüm alanlarda yapısal bir değişim yarattığı günümüzde, JARVIS projesi bu dönüşümün kritik gereksinimlerine yanıt vermeyi amaçlamakta ve karmaşık operasyonel senaryolarda insan-makine iş birliğini güçlendirecek yeni nesil dijital asistan çözümlerini geliştirmektedir. Proje kapsamında geliştirilen üç farklı dijital asistanın amacı; insan operatörlerin bilişsel yükünü azaltmak, durum farkındalığını artırmak ve hem konvansiyonel hem de gelişmekte olan hava hareketliliği uygulamalarında (AAM, UTM gibi) emniyetli ve verimli operasyonları desteklemektir.

Projenin ilk bileşeni olan *Airborne Digital Assistant*, kokpitte otomasyon seviyesinin artırılmasına ve YZ tabanlı makine zekâsının daha etkin şekilde kullanılmasına odaklanmaktadır. Bu asistan tek pilotlu operasyonlara geçişi destekleyecek biçimde tasarlanan, mevcut emniyet seviyelerini koruyarak veya artırarak uçuş yönetimini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Geliştirilen sistem uçuş parametrelerinin izlenmesi, kritik durumların erken tespiti ve görev dağılımının pilotun bilişsel yüküne göre uyarlanması gibi işlevlerle, geleceğin ATM konseptlerine entegrasyon sürecini hızlandırmaktadır.

İkinci dijital asistan olan *Air Traffic Control Digital Assistant*, hava trafik kontrolörlerinin operasyonel yükünü azaltmaya ve işlevsel kapasitesini artırmaya yönelik YZ destekli karar destek araçları sunmaktadır. Bu asistan, özellikle yeni hava aracı tiplerinin hava sahasına entegrasyonu, hava trafik akışında artan karşılıklı bağımlılıklar, çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda rota optimizasyonu ve yoğun trafik dönemlerinde verimlilik artışı gibi alanlarda ATC görevlerine destek sağlamaktadır. Veri odaklı algoritmalar, uçuşun farklı evrelerinde kontrolörlerin durumsal farkındalığını güçlendirmekte, karmaşık trafik durumlarında öngörüsnel analizler sunmakta ve yoğun görev dönemlerinde iş yükünü dengeleyici işlevler üstlenmektedir.

Üçüncü bileşen olan *Airport Digital Assistant*, havaalanı operasyonlarında emniyet ve verimliliği artırmaya yönelik YZ çözümlerini uygulamaya

koymaktadır. Geliştirilen bilgisayarlı algoritmalar, havaalanı sahasında izinsiz girişleri tespit etmekte, çarpışma risklerini önceden belirlemekte ve operasyonel tehditlere karşı erken uyarılar sağlamaktadır. Ayrıca uçak dönüş süreçlerinin ve yolcu akışlarının hesaplanmasına katkı sağlayarak daha öngörülebilir ve verimli bir havaalanı operasyon planının oluşturulmasına destek olmaktadır. Bu asistan, havaalanı operasyonlarında bütüncül bir farkındalık mekanizması oluşturarak zamanında müdahale kapasitesini artırmakta ve operasyonel belirsizlikleri azaltmaktadır (JARVIS, 2025).

#### 4.1.6. DARWIN (*Digital Assistants for Reducing Workload & Increasing Collaboration*)

DARWIN projesi, SESAR 3 Ortak Girişimi tarafından fonlanan ve hava taşımacılığının hızla değişen dinamiklerine özellikle insansız hava araçları ve hava taksilerinin giderek artan şekilde hava sahasına dâhil olmasına uyum sağlamak amacıyla tasarlanmış ileri düzey bir araştırma girişimidir. Dijital Avrupa Hava Sahası vizyonu doğrultusunda yürütülen proje, ölçeklenebilir, yüksek derecede otomatikleştirilmiş ve birbirine entegre *extended Minimum Crew Operations (eMCO)* ve *Single Pilot Operations (SPO)* konseptlerinin geliştirilmesi için gerekli teknolojik altyapıyı oluşturmayı hedeflemektedir. DARWIN, YZ tabanlı insan-makine iş birliği çözümleriyle operasyonel verimliliği artırmayı, karmaşık hava sahası senaryolarında emniyeti yükseltmeyi ve havacılık ekosisteminin dönüşümüne kritik katkılar sunmayı amaçlamaktadır.

DARWIN projesinin temel operasyonel hedefi, eMCO ve SPO uygulamaları için seviye 2 otomasyon düzeyine ulaşmaktır. Bu amaç doğrultusunda üç teknik ve üç destekleyici hedef belirlenmiştir. Teknik hedeflerin ilki, yüksek güvenilirlik gerektiren havacılık ortamında kullanılmak üzere yeniden kullanılabilir, açıklanabilir ve emniyet-kritik özellikler taşıyan bir *Trustworthy Machine Reasoning AI Platform (TMRP)* geliştirilmesi ve doğrulanmasıdır. Bu platform, düzenlemeler ile uyumlu karar destek ve karar verme süreçlerine yönelik YZ çözümlerinin emniyetli biçimde uygulanmasını sağlayacak temel bileşeni oluşturur. İkinci teknik hedef, pilot durumunu ve görev yükünü izleyen bir sistemin geliştirilmesini içermekte olup, pilot iş yükü, bilişsel durum, performans düşüşü veya pilotun görevini yapamaması gibi potansiyel olarak tehlikeli insan durumlarının tespiti için YZ tabanlı algılama yöntemlerini kullanmaktadır. Üçüncü teknik hedef ise mevcut operasyon konseptlerinden YZ destekli uyarlanabilir otomasyon ve iş birliğine geçişi sağlayan insan-YZ etkileşim teknolojilerinin geliştirilmesini kapsamaktadır. Bu süreç, kavramsal tasarım ve erken doğrulama aşamalarını

içeren birinci faz ile olgunlaştırma ve ileri doğrulama çalışmalarını kapsayan ikinci fazdan oluşmaktadır.

Projenin üç destekleyici hedefi, geliştirilen yenilikçi teknolojilerin güvenli, düzenlemelere uygun ve insan merkezli bir çerçevede işletilebilmesi için gerekli tamamlayıcı süreçleri içermektedir. Dördüncü hedef, eMCO ve SPO için seviye 2 otomasyonun güvenlik ve emniyet analizlerinin güncel risk değerlendirme yöntemleriyle gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Beşinci hedef kapsamında, güvenilir makine akıl yürütme sistemleri ve insan-YZ iş birliğinin sertifikasyon ve düzenleyici çerçevelerle uyumlu biçimde geliştirilmesi hedeflenmektedir. Altıncı hedef ise, pilot ile YZ destekli dijital asistan arasındaki görev paylaşımının nasıl yürütülmesi gerektiğini tanımlayan insan-YZ iş birliği yönergelerinin oluşturulmasına odaklanmaktadır (DARWIN, 2025).

#### **4.1.7. ASTRA (*AI-enabled tactical FMP hotspot prediction and resolution*)**

ASTRA, SESAR programı kapsamında eş finansmanla yürütülen ve Malta Üniversitesi, INGENAV, Deep Blue, Skysoft-ATM ve Skyguide gibi kurumların iş birliğiyle gerçekleştirilen bir projedir. Proje, özellikle FMP (Flow Management Position) birimlerinin bir saat öncesinden potansiyel 4DARHAC (4D Arrival Hotspot And Complexity) olaylarını tespit edebilmesini sağlayarak, akış yönetimi ile hava trafik kontrolü arasındaki koordinasyon boşluğunu kapatmayı hedeflemektedir. ASTRA'nın çözüm yaklaşımı, pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning- RL) tabanlı bir ajan tarafından önerilen karmaşıklık azaltma stratejilerinin insan operatörler tarafından anlaşılabilir olmasını sağlamak üzere XAI ilkelerini de içermektedir. Tasarlanan insan-makine arayüzünde (HMI), RL ajanının önerdiği her çözümün toplam karmaşıklık puanına ve bu puanı oluşturan alt faktörlere olan etkisi açık bir biçimde görselleştirilecek, uçuş seviyesi değişiklikleri gibi önerilerde bitişik trafik seviyeleri ve zamanlamalar gösterilerek kararın gerekçesi operatör tarafından sayısal olarak değerlendirilebilir hâle getirilecektir. Ayrıca, kontrol çalışma pozisyonlarında (Controller Working Position- CWP) kullanılan radar benzeri bir plan görünümü haritası aracılığıyla, önerilen çözümler uygulanmış ve uygulanmamış trafik senaryoları karşılaştırmalı olarak sunulacaktır. Bu yaklaşım, ekolojik arayüz tasarımı ilkelerinden yararlanarak operatörün durumsal farkındalığını artırmayı ve otomasyonla iş birliğini güçlendirmeyi hedeflemektedir.

ASTRA aracının uygulanması, ATFM ile ATC arasındaki operasyonel iletişimi güçlendirerek daha bütünlüklü bir ağ yönetimi yapısına katkı

sunmaktadır. Yoğunluk noktalarının daha erken tespiti sayesinde (i) küresel ATM sistemi üzerindeki yükün azalması, (ii) kontrolör iş yükünün hafiflemesi, (iii) karmaşıklık artmadan kapasite iyileşmesi, (iv) operasyonel emniyetin yükselmesi ve (v) daha düşük çevresel etkiye sahip uçuş rotalarının yaygınlaşması gibi çok yönlü faydalar beklenmektedir. Projenin doğrulama süreci, üç aşamalı bir insan merkezli tasarım (Human-Centred Design - HCD) yaklaşımıyla yürütülmektedir. İlk aşamada operasyon uzmanlarının katılımıyla operasyonel konsept ve gereksinimlerin belirlendiği bir çalıştay, ikinci aşamada kullanıcılarla test edilen düşük sadakatli HMI prototip simülasyonları, son aşamada ise yazılım ve algoritmaların bütünlük olarak değerlendirildiği gerçek zamanlı bir simülasyon süreci uygulanmaktadır. Her aşamada son kullanıcı geri bildirimi toplanarak geliştirilen çözümün operatör ihtiyaçlarına uyumu sağlanmakta ve kullanılabilirlik, ergonomi ve performans açısından bütüncül bir değerlendirme yapılmaktadır.

#### 4.1.8. TRUSTY (*Trustworthy intelligent system for remote digital tower*)

Uzaktan Dijital Kuleler (Remote Digital Towers - RDT), havaalanı trafik akışının ve kapasite yönetiminin fiziksel kontrol kulelerine ihtiyaç duyulmadan, uzaktan ve yüksek çözünürlüklü video aktarımı aracılığıyla sağlanmasını mümkün kılan yeni nesil bir hava trafik hizmeti platformu olarak ortaya çıkmıştır. Geleneksel kontrol kulesi modellerinde hava trafik kontrolörleri taksi yollarını ve pistleri doğrudan görüş hattı ile izlerken, RDT mimarisi aynı operasyonel bilginin farklı bir konumdan sunulmasına olanak tanımaktadır. Bu dönüşüm, özellikle artan hava trafik talebi, personel kısıtları ve havaalanı altyapısındaki çeşitlenme bağlamında, emniyetli ve verimli ATM için YZ destekli karar sistemlerinin kritik önemini artırmıştır. Bu çerçevede geliştirilen TRUSTY projesi, RDT ortamlarında kullanılan YZ temelli karar destek sistemlerinin şeffaflığını, açıklanabilirliğini ve güvenilirliğini artırmayı hedefleyen kapsamlı bir araştırma girişimidir. Proje, dört aşamalı bir metodoloji izleyerek ilk aşamada kontrolörlerin ihtiyaç ve gereksinimlerini temel alarak XAI'ya yönelik güven inşa etmeyi amaçlayan kullanım senaryosunun tanımlandığı bir yol haritası geliştirmektedir. İkinci aşamada veri güdümlü AI modelleme, şeffaflık, görselleştirme, açıklanabilirlik, adalet, hesap verebilirlik ve adaptasyon çerçevelerine yönelik araştırma ve geliştirme döngüleri yürütülmektedir. Üçüncü aşama, geliştirilen XAI/ML algoritmalarının ATM operasyonlarını temsil eden test tesislerinde kullanıcılarla birlikte doğrulandığı kapsamlı test süreçlerini içermekte olup, RDT bağlamında güvenilir insan-YZ iş birliğinin operasyonel uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Son aşamada ise projenin etki analizi gerçekleştirilerek doğrulanan çıktılar bütüncül biçimde



analiz edilmiş ve elde edilen bulguların ATM alanına nasıl daha geniş ölçekte uygulanabileceğine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Projenin genel çıktısı, görselleştirme, açıklanabilirlik, genellenebilirlik, doğruluk, sağlamlık, adalet, hesap verebilirlik ve kullanıcı kabulünü içeren nitelikleriyle RDT operasyonlarında güvenilir bir YZ sistemi için kanıt niteliğinde bir konsept geliştirilmesidir. Ayrıca gerçek operasyonel koşullarda yürütülecek test ve doğrulama prosedürleriyle, geliştirilen YZ sisteminin güvenlik ve güvenilirlik performansı çeşitli kullanıcı gruplarının—teknoloji geliştiricileri, tüketici test grupları ve tip onay otoriteleri—gereksinimlerine göre değerlendirilecek ve bu sayede RDT ortamlarında emniyetli, açıklanabilir ve hesap verebilir YZ destekli karar sistemlerinin benimsenmesini destekleyecek operasyonel bir çerçeve ortaya koymaktadır.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Bu kitap bölümünde, ATM bağlamı SESAR girişimleri kapsamında geliştirilen YZ çözümlerini ve özellikle SESAR projeleri kapsamında “*Havacılıkta Yapay Zekâ (Artificial Intelligence for Aviation)*” bölümü altında toplanan projeler incelenerek ATM’de insan–YZ etkileşimi kavramsal ve uygulamalı düzeyde ele alınmıştır.

ATM doğrudan binlerce yolcu ve uçuş ekibinin emniyetini etkileyen, bu nedenle hata toleransının son derece düşük olduğu tipik bir “*safety-critical*” alan olarak öne çıkmaktadır (Pham ve Ali, 2024). Bu bağlamda, YZ’nin son on yılda farklı bilişsel görevlerde insan performansını aşan başarısına rağmen, derin öğrenme tabanlı sistemlerin kimi durumlarda öngörülemez davranışlar gösterebilmesi, karmaşık muhakeme ve planlama gerektiren durumlarda zorlanması, ATM’de ‘tam otomasyon’ yerine insan–YZ hibrit yaklaşımları ve *human–AI teaming* kavramlarını öne çıkarmaktadır.

Bu kitap bölümünde odaklanılan SESAR girişimleri çerçevesi, bu amaca yönelik olarak kurgulanmıştır. SESAR girişimleri tanımlama, geliştirme ve yaygınlaştırma aşamalarına dayalı, Avrupa ATM Ana Planı’nı referans alan ve insan faktörlerini, emniyeti, kapasiteyi ve çevresel sürdürülebilirliği birlikte ele alan bir modernizasyon programıdır. AI4Aviation kapsamında geliştirilen ve bu bölümün amacı doğrultusunda yer verilen DIALOG, ORCI, AWARE, SynthAIR, JARVIS, DARWIN, ASTRA ve TRUSTY projeleri, insan–YZ etkileşimini farklı operasyonel boyutlarda ele alarak bu modernizasyonun somut örneklerini sunmaktadır. DIALOG ve AWARE projelerinde geliştirilen takım asistanları ve yapay durumsal farkındalık sistemleri, ASTRA’nın FMP için YZ destekli hotspot tahmin ve çözümleme yaklaşımı, ORCI’nin TMA yaklaşma fazında karar destek sistemi, TRUSTY’nin uzaktan kule operasyonlarında güvenilir ve açıklanabilir YZ’ye odaklanması, JARVIS



ve DARWIN'in tek pilot ve eMCO/SPO konseptleri için dijital asistanları ve pilot durum izleme çözümleri, insan-YZ hibrit yapılarının farklı operasyonel göstergeleri olarak değerlendirilebilir.

Bu çerçevede Pham ve Ali (2024)'nin önerdiği Human-AI Hybrid (HAH) yaklaşımı, SESAR projelerini değerlendirmek için güçlü bir üst çerçeve sunmaktadır. HAH, güvenilirlik insan-merkezli tasarım, uyarlanabilir rol ve görev paylaşımı, insan-YZ birlikte evrimi (co-evolution), sıkı entegrasyon ve güven (trust) bileşenlerine sahip, karar yetkisinin nihai olarak insanda kaldığı, buna karşın YZ'nin algısal yetkinlikleri, hesaplama gücü ve sürekli dikkat kapasitesiyle insan yargı ve sezgisini tamamladığı bir paradigma olarak tanımlanmaktadır. DIALOG'un hava trafik kontrolörü niyetini sesli iletişimden ve fizyolojik göstergelerden çıkarmaya çalışması, AWARE'in görsel dikkat takibi ve yapay durumsal farkındalık çözümleri, DARWIN'in insan-YZ işbirliğini güvenilir makine akıl yürütme platformu üzerinden kurgulaması ve ASTRA'nın karmaşıklık temelli RL ajanı ile FMP kararlarını desteklemesi, bu HAH bileşenlerinin somut göstergeleri olarak değerlendirilmektedir.

Torsi ve arkadaşlarının (2025) ele aldığı "dayanıklılık (resilience)" kavramı, bu projelerin ortak zeminini oluşturmaktadır. Hava trafik sisteminde yalnızca sağlamlık (robustness) değil, beklenmedik durumlara uyum sağlayabilen, bozulmaya rağmen emniyetli performansı sürdürebilen, hatta olaylardan öğrenerek kendini yeniden yapılandırabilen bir örgütsel ve bilişsel mimariyi gerekli kılmaktadır. İnsan bilişi, sezgisel ve analitik düşünme sistemlerinin dinamik entegrasyonu, varsayımsal çıkarım yapabilme, belirsizlik altında hızlı anlamlandırma ve beklenmeyen durumlarda yaratıcı çözüm üretme kapasitesi sayesinde doğal bir bilişsel dayanıklılık sunmaktadır. YZ ise büyük veri kümelerinden zayıf sinyalleri yakalama, örüntü tanıma ve olasılıksal öngörü üretme bakımından güçlü bir algoritmik dayanıklılık zemini sağlamaktadır. SESAR kapsamındaki human-AI teaming çözümleri, insanın çıkarımsal ve bağlamsal muhakemesini YZ'nin veri odaklı tahmin gücüyle bir araya getirerek, sistem düzeyinde yeni bir *ortak dayanıklılık* formu inşa etmeyi amaçlamaktadır.

Bu ortak dayanıklılığın sürdürülebilir olması, Kirwan (2025)'in ortaya koyduğu insan faktörleri mimarisiyle yakından ilişkilidir. İnsan merkezli tasarımlar, roller ve sorumlulukların yeniden tanımlanması, ortak durumsal farkındalık ve açıklanabilirlik (sense-making), insan-YZ iletişimi, takım çalışması, hata ve arıza yönetimi, yetkinlikler ve eğitim, örgütsel hazırlık gibi sekiz alan, SESAR projelerinin teknoloji hazırlık düzeyi döngüsü boyunca dikkate alınması gereken temel başlıklardır. Nitekim DIALOG, ORCI,

ASTRA ve TRUSTY örneklerinde insan-merkezli tasarım ilkeleri, uçuş kontrolörlerinin ve diğer paydaşların erken aşamadan itibaren tasarım ve doğrulama süreçlerine dahil edilmesi, insan-çevrimli (HITL) simülasyonlar ve ardışık iterasyonlarla desteklenmektedir. Bu, yeni teknolojinin mevcut operasyonel bağlama “akıllı entegrasyon” yoluyla eklenmesi gerektiğini vurgulayan Stathis ve çalışma arkadaşlarının (2025) yaklaşımıyla da uyumludur. Aksi halde, yalnızca maliyet ve verimlilik odaklı, insan özerkliği ve uyarlama kapasitesini daraltan tasarımlar, sistemin karmaşıklığı yönetme ve sürpriz olaylarla baş etme yeteneğini zayıflatma riski taşımaktadır.

İnsan-YZ iş birliğinin yalnızca mimari ve algoritmik düzeyde değil, yetkinlikler ve eğitim boyutunda da yeniden düşünülmesi gerekmektedir. EUROCONTROL (2020)’ün Avrupa Havacılık YZ Üst Düzey Grubu (EAAI HLG) çıktıları, YZ’nin hızla devreye alınabilmesi için “*yeni ortak insan-makine sistemi, beceriler ve eğitim*” başlığını altı temel hızlandırıcıdan biri olarak tanımlamaktadır. IFATCA (2025b) ‘nın analizleri, klasik hava trafik kontrol yetkinliklerine ek olarak veri analizi ve görselleştirme, sistem ve tasarım odaklı düşünme, veri temelli karar verme, sürekli öğrenme ve çeviklik, YZ/ML okuryazarlığı ve yeni iletişim biçimlerine uyum gibi yetkinliklerin önemini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, yoğun otomasyon kullanımının mevcut becerilerde beceri kaybı (skill fade) riskini artırabileceği, bu nedenle rutin ve rutin olmayan durum yönetimi, bozulan modların idaresi ve prosedür dışı durumlarda yaratıcı problem çözme gibi yetkinliklerin sistematik olarak korunması ve güncellenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu bağlamda ICAO’nun yetkinlik çerçevesi, ANSP’ler tarafından YZ tabanlı sistemlere uyarlanacak yeni eğitim programları için temel bir referans sağlamaktadır.

Teknik açıdan bakıldığında, Abdillahi vd. (2024)’nin derleme çalışmasında, ML ve DL yöntemlerinin çatışma tespiti, uçuş yörüngesi tahmini, trafik akışı öngörüsü, gecikme tahmini ve karmaşıklık ölçümü gibi ATC görevlerinde yüksek doğrulukla çalışabildiğini, gerçek veriye dayalı yöntemlerin ve büyük veri altyapılarının bu alanda önemli bir potansiyel sunduğu belirtilmiştir. Ancak aynı çalışmalar, bu modellerin operasyonel geçerliliğinin gerçek veri ile doğrulama, insan-çevrimli simülasyonlar, farklı çevresel bağlamlarda genellenebilirlik analizi ve belirsizlik yönetimi ile test edilmesi gerektiğini de ortaya koymaktadır. Bu noktada EUROCONTROL’un veri paylaşımı ve havacılık-özel AI altyapısı kurma çağrıları, SESAR projelerinin ölçeklenmesi açısından kritiktir.

Bu kitap bölümünde ele alınan SESAR AI4Aviation projeleri, YZ’nin ATM’de emniyet, kapasite, verimlilik ve çevresel performansı artırma potansiyelini, insanın tamamen devre dışı bırakılmadığı, aksine bilişsel

ve etik otoritenin insanda kaldığı human-AI teaming paradigması içinde somutlaştırmaktadır. Bununla birlikte, bu potansiyelin gerçekleştirilmesi, insan-merkezli tasarım, dayanıklılık odaklı sistem mimarileri, açıklanabilir ve güvenilir YZ, kapsamlı eğitim ve yetkinlik yönetimi, düzenleyici çerçeveler ve örgütsel hazır bulunuşluk alanlarında kararlı ve koordineli bir çaba gerektirmektedir.

Geleceğe dönük olarak, ilk olarak ilgili konuya dair araştırma gündeminin insan-YZ takım çalışması (human-AI teaming) ve insan-YZ hibrid (HAH) yapıları etrafında daha sistematik hale getirilmesi gerekmektedir. Farklı otomasyon seviyeleri ve görev/paylaşım senaryolarını karşılaştıran, ortak performans, durumsal farkındalık, dayanıklılık, güven kalibrasyonu ve iş doyumu göstergelerini birlikte ele alan çalışmalar, SESAR projelerinin sonuçlarını genelleştirmek açısından önemlidir. Kirwan (2025)'in önerdiği insan faktörleri alanlarının TRL aşamalarına haritalanmasının, erken tasarım safhasından itibaren hangi insan faktörleri gereksinimlerinin nasıl ele alınacağına dair pratik bir yol haritası sağlayabileceği düşünülmektedir. Özellikle takım çalışması, iletişim ve rol/sorumluluk yeniden tanımlı konularında canlı denemeler, uzunlamasına çalışmalar ve operasyonel saha uygulamalarının kritik olacağı öngörülmektedir.

İkinci olarak, eğitim ve öğretim programlarının YZ çağının gerektirdiği yetkinliklerle yeniden yapılandırılması beklenmektedir. Hava trafik kontrol temel ve ileri eğitim müfredatlarına, YZ/ML okuryazarlığı, veri analitiği ve görselleştirme, sistem düşüncesi, veri temelli karar verme, YZ çıktılarının güvenilirlik ve belirsizlik değerlendirmesi, XAI arayüzleriyle etkileşim, insan-YZ takım çalışması ve bozulmuş mod yönetimi gibi içeriklerin entegrasyonu önem kazanmaktadır. Simülasyon temelli eğitimlerin, DIALOG, AWARE, ORCI ve ASTRA gibi projelerde geliştirilen prototip arayüzler ve karar destek araçları üzerinden senaryo odaklı olarak tasarlanabileceği düşünülmektedir. Bu senaryolar, hem rutin operasyonlarda YZ'den etkin yararlanmayı, hem de sistem arızası, yanlış/yanıltıcı YZ önerisi, veri bütünlüğü sorunları veya siber güvenlik ihlali gibi durumlarda insanın kontrolü devralma ve sistemi emniyetli konfigürasyona geri döndürme becerisini hedeflemelidir.

Üçüncü olarak, sistem tasarımı ve uygulama süreçlerinde insan merkezli tasarım ilkelerinin pratik düzeyde kurumsallaşması gerekmektedir. Hava trafik kontrolörlerinin, teknisyenlerin ve diğer operasyonel paydaşların erken aşamadan itibaren birlikte tasarım süreçlerine dâhil edildiği, arayüz ve algoritma kararlarının kullanıcı testleri, açıklanabilirlik gereksinimleri ve ortak durumsal farkındalık kriterleriyle sınındığı bir tasarım yaklaşımı benimsenmelidir. XAI ve ekolojik arayüz tasarımı ilkeleri, özellikle ASTRA

ve TRUSTY gibi projelerde olduğu gibi, YZ'nin yalnızca “ne yapılması gerektiğini” değil, “neden o çözümü önerdiğini”, sistem karmaşıklığı ve risk düzeyi üzerindeki etkisini de görselleştirecek biçimde kullanılabilir. Böylece insan–YZ iletişimi, tek yönlü komutlardan ziyade, savunulabilir ve müzakere edilebilir öneriler üzerinden gelişen bir diyaloga dönüşecektir.

Dördüncü olarak, kurumsal ve düzenleyici düzeyde yönetim çerçevelerinin YZ entegrasyonuna uyarlanması gerekmektedir. EUROCONTROL'un vurguladığı veri paylaşımı ve YZ altyapısı, emniyetli YZ kullanımına ilişkin sertifikasyon ve onay süreçleri, siber dayanıklılık ve sektörler arası ortaklıklar, SESAR projelerinin ölçeklenmesi için belirleyici olacaktır. Aynı zamanda, örgütsel hazırlık boyutunda, personel yapısı, iş tasarımı, iş doyumu, sendikal kaygılar, etik ve refah konularının proaktif biçimde ele alınması, IFATCA (2025b)'nın vurguladığı “iş düzeyinin ve tatmininin korunması” ilkesiyle uyumlu bir değişim yönetimi gerektirmektedir.

Beşinci olarak, dayanıklılık ve etik boyutu merkeze alan bir human–AI teaming anlayışı geliştirilmelidir. “Fark edilmeden güvenli sınırların dışına doğru sürüklenme (**Drift into failure**)” süreçlerinin erken tespiti için, YZ'nin iletişim kalıpları, yörünge sapmaları ve prosedür dışı uygulamalar gibi zayıf sinyalleri sistem düzeyinde izlemesi; buna karşılık insan operatörlerin de YZ'nin sınırları, eğitim verisi önyargıları ve belirsizlik durumlarında zayıflıkları konusunda bilgilendirilmesi önemlidir. Güven kalibrasyonu, ne otomasyona aşırı güven ne de YZ önerilerini sistematik biçimde reddeden bir “undertrust” biçimini teşvik etmemelidir. Açıklanabilir YZ, bu dengeyi kurmak açısından temel bir araçtır; ancak asıl hedef, insan ve YZ'nin birbirinin güçlü ve zayıf yönlerinin farkında olduğu, karşılıklı izleme ve geri bildirim mekanizmalarına dayalı ortak bilişsel sistemler geliştirmektir.

SESAR girişimleri ve AI4Aviation projeleri, ATM'de YZ'nin geleceğini insanı ikame eden değil, insanın bilişsel ve örgütsel kapasitesini güçlendiren bir ortak olarak konumlandıran güçlü bir vizyon sunmaktadır. Bu vizyonun hayata geçmesi, araştırma, tasarım, eğitim, düzenleme ve örgütsel dönüşüm alanlarında eşzamanlı ve bütüncül bir çaba gerektirecek olsa da doğru kurgulandığında, hem emniyet hem de sürdürülebilirlik hedefleri açısından dönüştürücü etkiler yaratacaktır.

## Kaynakça

- Abdillah, R. E., Moenaf, H., Rasyid, L. E., Achmad, S., & Sutoyo, R. (2024, January). Implementation of Artificial Intelligence on Air Traffic Control-A Systematic Literature Review. In *2024 18th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM)* (pp. 1-7). IEEE. 10.1109/IMCOM60618.2024.10418350.
- Aditya, V., Aswin, D. S., Dhaneesh, S. V., Chakravarthy, S., Kumar, B. S., & Venkadavarahan, M. (2024). A review on air traffic flow management optimization: trends, challenges, and future directions. *Discover Sustainability*, 5(1), 519. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00781-7>.
- Aghdam, M., Kamel Tabbakh, S. R., Mahdavi Chabok, S. J., & Kheyraadi, M. (2021). Optimization of air traffic management efficiency based on deep learning enriched by the long short-term memory (LSTM) and extreme learning machine (ELM). *Journal of Big Data*, 8(1), 54. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00438-6>.
- ASTRA (2025). ASTRA- AI-enabled tactical FMP hotspot prediction and resolution. <https://www.sesarju.eu/projects/ASTRA>. Erişim Tarihi: 16.11.2025.
- AWARE (2025). Achieving human-machine collaboration with artificial situational awareness – AWARE. <https://www.aware-sesar.eu/>. Erişim Tarihi: 16.11.2025.
- Barbera, S., Miglietta, A., Sureda-Perez, S., Mineck, K., Fistas, N., Zaruba, R., Tamalet, S., & Albiol, L. (2019). Future Satellite Communications Data Link in SESAR 2020 and ESA Iris Programme. *2019 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, 1-11. 10.1109/ICNSURV.2019.8735277
- Bolić, T., & Ravenhill, P. (2021). SESAR: The Past, Present, and Future of European Air Traffic Management Research. *Engineering*, 7, 448-451. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.08.023>.
- Budd, L. (2016). Airspace and air traffic management. In *Air Transport Management* (pp. 243-260). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429299445-16>.
- Chen, Y., Zhao, Y., & Wu, Y. (2024). Recent progress in air traffic flow management: A review. *Journal of Air Transport Management*, 116, 102573. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102573>.
- Da Cruz, A. (2024). Transforming Air Traffic Management With Big Data And Artificial Intelligence. *International Seven Journal of Multidisciplinary*. 1(2). <https://doi.org/10.56238/isevmjv1n2-009>.
- Dand, A., Saeed, K., & Yildirim, B. (2019). Prediction of airline delays based on machine learning algorithms. <https://web.archive.org/we>

- b/20200709120850id\_/https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1379&context=amcis2019
- DARWIN (2025). Digital Assistants for Reducing Workload and Increasing collaboration. <https://darwinai.eu/>. Erişim Tarihi: 16.11.2025.
- Degas, A., Islam, M. R., Hurter, C., Barua, S., Rahman, H., Poudel, M., ... & Arico, P. (2022). A survey on artificial intelligence (ai) and explainable ai in air traffic management: Current trends and development with future research trajectory. *Applied Sciences*, 12(3), 1295.
- DHMI (t.y.). *Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Hakkımızda*. <https://dhmi.gov.tr/Sayfalar/Hakkimizda.aspx>. Erişim Tarihi: 13.11.2025.
- DIALOG (2025). *Deciphering Intents of Air traffic controllers, workLoad assessment and Gaze analysis to enable their efficient and trustworthy collaboration with AI*. <https://research.dblue.it/dialog/>. Erişim Tarihi: 15.11.2025.
- Drupka, G., Majka, A., Rogalski, T., & Trela, L. (2018). An airspace model applicable for automatic flight route planning inside free route airspace. *Advances in Mechanical and Materials Engineering*, 35(298 (1)), 5-18. <https://doi.org/10.7862/rm.2018.01>
- EASA (2024a). *EASA Artificial Intelligence Roadmap 2.0* <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-20>. Erişim Tarihi: 12.11.2025
- EUROCONTROL (2020). *EUROPEAN AVIATION ARTIFICIAL. INTELLIGENCE HIGH LEVEL GROUP. The FLY AI Report Demystifying and Accelerating AI in Aviation/ATM*. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-03/eurocontrol-fly-ai-report-032020.pdf>. Erişim Tarihi: 16.11.2025.
- EUROCONTROL (2024). *Digitalisation and AI in air traffic control: balancing innovation with the human element*. <https://www.eurocontrol.int/article/digitalisation-and-ai-air-traffic-control-balancing-innovation-human-element#:~:text=AI's%20impact%20on%20air%20traffic%20control&text=AI%20systems%20can%20continuously%20monitor,manage%20situations%20efficiently%20and%20safely>. Erişim Tarihi: 13.11.2025
- EUROCONTROL (2025). *Artificial intelligence*. <https://www.eurocontrol.int/artificial-intelligence>. Erişim Tarihi: 11.11.2025
- EUROCONTROL (t.y.). *About Us*. <https://www.eurocontrol.int/about-us>. Erişim Tarihi: 12.11.2025.
- FAA (2024). *Roadmap for Artificial Intelligence Safety Assurance*. <https://www.faa.gov/media/82891>. Erişim Tarihi: 21.11.2025.
- FAA (2025). *Traffic Management* [www.faa.gov/nextgen/programs/weather/tfm\\_support/overview](http://www.faa.gov/nextgen/programs/weather/tfm_support/overview) Erişim Tarihi 12.11.2025.
- Fewings, R. (2010). Air traffic management. *Encyclopedia of Aerospace Engineering*. <https://doi.org/10.1002/9780470686652.cae483>.



- Fortune Business Insights (2025). *AI in Aviation Market*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/ai-in-aviation-market-113289> Erişim Tarihi: 12.11.2025
- Galotti, V. P. (2019). Air Traffic Management. *The Future Air Navigation System (EANS)*, 177-214.. <https://doi.org/10.4324/9780429435614-8>.
- García-Heredia, D., Alonso-Ayuso, A., & Molina, E. (2019). A combinatorial model to optimize air traffic flow management problems. *Computers & Operations Research*, 112, 104768. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.104768>.
- Gargiulo, F., Gigante, G., Escarré, O. B., & De Urrengoechea, T. (2024, July). SESAR GEESE Project Validation with CIRA Multi-Agent Simulation Facility: Preliminary Study. In *2024 15th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)* (pp. 1-8). IEEE. 10.1109/IISA62523.2024.10786611
- Gui, G., Zhou, Z., Wang, J., Liu, F., & Sun, J. (2020). Machine learning aided air traffic flow analysis based on aviation big data. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(5), 4817-4826. <https://doi.org/10.1109/tvt.2020.2981959>.
- Guleria, Y. (2024). *Enhancing air traffic conflict resolution through machine learning, conformal automation, and flow-centric paradigms* (Doctoral dissertation, Nanyang Technological University).
- ICAO (2016). *Air Traffic Management*. <https://recursosdeaviacion.com/wp-content/uploads/2021/01/icao-doc-4444-air-traffic-management> Erişim Tarihi: 12.11.2025
- ICAO (2025). The Impact Of Artificial Intelligence On The Aviation Sector. [https://www.icao.int/sites/default/files/Meetings/a42/Documents/WP/wp\\_389\\_en.pdf](https://www.icao.int/sites/default/files/Meetings/a42/Documents/WP/wp_389_en.pdf) Erişim Tarihi: 12.11.2025.
- IFATCA (2025a). ATCO skills with the use of Artificial Intelligence and legal Liability. <https://ifatca.org/wp-content/uploads/WP-2025-157.pdf>. Erişim Tarihi: 12.11.2025
- IFATCA (2025b). Advancing ATC Simulation with AI. <https://ifatca.org/wp-content/uploads/WP-2025-167a.pdf>. Erişim Tarihi: 12.11.2025.
- JARVIS (2025). JARVIS- Just a rather very intelligent system. <https://www.sesarju.eu/projects/JARVIS>. Erişim Tarihi: 16.11.2025.
- Kaczorowski, P. (2025). Implementation of machine learning methods for air traffic management. *Journal of KONBiN*, 55(1), 137-154. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.0628>.
- Karahasanović, A., Eide, A. W., Schittekat, P., Swendgaard, H. E., Bakhrankova, K., Kjenstad, D., ... & Gräupl, T. (2019). Can holistic optimization improve airport air traffic management performance?. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 34(5), 12-20. 10.1109/MAES.2019.2918039



- Kirwan, B. (2025). Human factors requirements for human-ai teaming in aviation. *Future Transportation*, 5(2), 42. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5020042>
- Liu, B., Lye, S. W., & Zakaria, Z. B. (2024). An integrated framework for eye tracking-assisted task capability recognition of air traffic controllers with machine learning. *Advanced Engineering Informatics*, 62, 102784. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102784>
- Mannino, C., Nakkerud, A., & Sartor, G. (2021). Air traffic flow management with layered workload constraints. *Computers & operations research*, 127, 105159. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105159>
- Moreno, F. P., Rodríguez, F. I., Comendador, V. F. G., Jurado, R. D. A., Suárez, M. Z., & Valdés, R. M. A. (2024). Prediction of air traffic complexity through a dynamic complexity indicator and machine learning models. *Journal of Air Transport Management*, 119, 102632. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102632>
- Nilsson, J., Unger, J., & Eilertsen, G. (2025). Self-Prioritizing Multi-Agent Reinforcement Learning for Conflict Resolution in Air Traffic Control with Limited Instructions. *Aerospace*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/aerospace12020088>
- ORCI (2025). Optimised Runway Centreline Interception – ORCI. <https://orci.isa-software.com/>. Erişim Tarihi: 16.11.2025.
- Ortner, P., Steinhöfler, R., Leitgeb, E., & Flühr, H. (2022). Augmented air traffic control system—artificial intelligence as digital assistance system to predict air traffic conflicts. *Ai*, 3(3), 623-644. <https://doi.org/10.3390/ai3030036>
- Pang, Y., Hu, J., Lieber, C. S., Cooke, N. J., & Liu, Y. (2023). Air traffic controller workload level prediction using conformalized dynamical graph learning. *Advanced Engineering Informatics*, 57, 102113. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102113>
- Papadopoulos, G., Bastas, A., Vouros, G. A., Crook, I., Andrienko, N., Andrienko, G., & Cordero, J. M. (2024). Deep reinforcement learning in service of air traffic controllers to resolve tactical conflicts. *Expert Systems with Applications*, 236, 121234. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121234>
- Pham, D. T., Ali, H., Fennedy, K., Hsieh, M. H., Alam, S., & Duong, V. N. (2024). Human-AI hybrid paradigm for collaborative air traffic management systems. <https://dr.ntu.edu.sg/entities/publication/60a54c7d-2bf6-43c4-876a-45c4a30e8ce9>
- Pierattelli, S., Lamberti, F., & Foti, A. (2025, April). Getting Closer to the ATM Digitalization Through the Future Digital Communication Infrastructure. In *2025 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)* (pp. 1-5). IEEE. 10.1109/ICNS65417.2025.10976821

- Royal Aeronautical Society (t.y.). *What is ATM?* <https://www.aerosociety.com/get-involved/specialist-groups/air-transport/air-traffic-management/>. Erişim Tarihi: 12.11.2025
- SESAR JU (2025a). *European ATM Master Plan*. <https://www.sesarju.eu/masterplan>. Erişim Tarihi: 12.11.2025.
- SESAR JU (2025b). Projects Portal. <https://www.sesarju.eu/projects/portal>. Erişim Tarihi: 15.11.2025.
- SHGM (t.y.). *Hava Trafik Kontrolörü*. <https://web.shgm.gov.tr/tr/havacilik-personeli/2129-hava>. Erişim Tarihi: 12.11.2025
- Sridhar, B., ve Chatterji, G. B. (1999). Air traffic management. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 1-17. <https://doi.org/10.1002/047134608x.w1108.pub2>.
- Stathis, M., Marc, B., Nora, B., & Anthony, S. (2025). Human machine teaming in the air traffic control operations rooms: The IFATCA's perspective. *Transportation Research Procedia*, 88, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.05.011>
- SynthAIR (2025). SynthAIR - Improved ATM automation and simulation through AI-based universal models for synthetic data generation. <https://www.sesarju.eu/projects/SynthAIR>. Erişim Tarihi: 16.11.2025.
- Tang, J., Wang, D., Ye, W., Dong, B., & Yang, H. (2022). Safety risk assessment of air traffic control system based on the game theory and the cloud matter element analysis. *Sustainability*, 14(10), 6258. <https://doi.org/10.3390/su14106258>
- Taylor, C., Vargo, E., Manderfield, T., & Heitin, S. (2024). Teaching artificial intelligence good air traffic flow management. *Journal of Air Transportation*, 32(4), 184-196. <https://doi.org/10.2514/1.D0414>
- Torsi, S., Bonelli, S., Vicario, A. G., Levantesi, A., & Mapar, H. (2025). Cognitive Resilience and Human-AI Teaming in Air Traffic Control. <https://ceur-ws.org/Vol-4072/short3.pdf>
- TRUSTY (2025). TRUStworthy inTelligent sYstem for remote digital Tower. <https://research.dblue.it/trusty/>. Erişim Tarihi: 16.11.2025.
- Tuncal, A. (2025a). Hava Trafik Yönetiminde Küresel Trendler ve Stratejik Yönelimler. In Ayberk Tütükn (Ed.). *Hava Taşımacılığında Küresel Trendler ve Stratejik Yönelimler*. (pp. 131.162). Nobel: Ankara.
- Tuncal, A. (2025b). Artificial Intelligence Integration in Air Traffic Management: A Qualitative Content Analysis of the SESAR Research. *AIP4's International Journal on Artificial Intelligence: Bridging Technology, Society and Policy*, 1(2), 61-72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17391128>
- Vossen, T. W., Hoffman, R., & Mukherjee, A. (2011). Air traffic flow management. In *Quantitative problem solving methods in the airline industry: A*

*modeling methodology handbook* (pp. 385-453). Boston, MA: Springer US.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1608-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1608-1_7)

- Xu, Y., Dalmau, R., Melgosa, M., Montlaur, A., & Prats, X. (2020). A framework for collaborative air traffic flow management minimizing costs for airspace users: Enabling trajectory options and flexible pre-tactical delay management. *Transportation Research Part B: Methodological*, 134, 229-255. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.02.012>.



## Uçuş Operasyonlarında Yapay Zekâ: Rapor Analizi ve Güvenlik İzleme

Teoman Erdağ<sup>1</sup>

### Özet

Havacılık sektörü, operasyonel güvenlik ve raporlama süreçlerinde dijital dönüşümü hızla benimsemektedir. Bu dönüşüm uçuş emniyeti, zaman yönetimi ve maliyet optimizasyonu açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bölümde uçuş operasyonlarında yapay zekâ (YZ) temelli çözümlerin rapor sınıflandırma ve güvenlik izleme süreçlerine entegrasyonu incelenmiştir. Özellikle Lufthansa Group tarafından geliştirilen “AI Co-Validator” projesi örnek olay olarak ele alınmış, projenin teknik altyapısı, operasyonel kazanımları ve stratejik etkileri detaylı biçimde tartışılmıştır. YZ, yalnızca büyük veri kümelerini yönetmekle kalmayıp, olayların bağlamsal analizini, örüntü tespiti ve risk öngörüsünü mümkün kılmaktadır. Sistem, çok dilli raporları işleyebilmekte, otomatik sınıflandırma ve güven skoru üretme yetenekleriyle karar destek sistemlerine katkı sağlamaktadır. AI Co-Validator, manuel raporlama süreçlerinin aksaklıklarını azaltmakta, işgücü ve zaman tasarrufu sağlamakta, operasyonel tutarlılığı artırmakta ve kurumsal hafıza oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Bunun yanı sıra etik, şeffaflık ve regülasyon boyutları da ele alınmış; açıklanabilir yapay zekâ (XAI) yaklaşımları, algoritmik önyargı riskleri ve yasal uyumluluk vurgulanmıştır. Türkiye bağlamında ise, yerli havacılık altyapısı ve SHGM düzenlemeleri, YZ tabanlı raporlama ve analiz sistemlerinin uygulanabilirliği açısından uygun bir zemin sunmaktadır. Türkiye’de faaliyet gösteren havacılık işletmeleri ve diğer yerli girişimler, yapay zekâ çözümlerinin operasyonel süreçlere entegre edilmesi ve yerli sistemlerin geliştirilmesi için fırsatlar yaratmaktadır. Bu bağlamda, YZ destekli sistemler sadece teknik bir yenilik değil, aynı zamanda uçuş güvenliğinde proaktif karar alma, verimlilik ve kurumsal öğrenme süreçlerini güçlendiren stratejik bir araç olarak ön plana çıkmaktadır.

1 Dr., Türk Hava Yolları Kabin Veri Analitiği ve Süreç Geliştirme Şefliği, e-mail: teomanerdag1979@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3829-7546

## 1. Giriş

Uluslararası hava taşımacılığı, 21. yüzyılın en karmaşık ve dinamik sektörlerinden biri haline gelmiştir. Günümüzde ticari havayolu işletmeleri, yalnızca taşımacılık hizmeti sunmakla kalmayıp aynı zamanda milyonlarca yolcunun güvenliğini, konforunu ve zamanını yöneten büyük ölçekli veri işletmeleri olarak da değerlendirilmektedir. Bu bağlamda uçuş operasyonları, özellikle zamanlama, emniyet, hizmet kalitesi ve maliyet yönetimi açısından stratejik öneme sahiptir.

Uçuş operasyonlarının emniyet yönetişimi çerçevesinde incelenmesi, emniyet raporlarının etkin biçimde sınıflandırılması, değerlendirilmesi ve karar vericilere ulaştırılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Ancak klasik raporlama sistemleri bu süreci büyük ölçüde manuel iş gücüne dayandırmakta, dolayısıyla zaman kaybı, hata oranı ve öznellik gibi faktörlerle performans kaybına neden olmaktadır. Bu durum uçuş emniyeti gibi hayati bir alan için önemli bir risk unsuru oluşturmaktadır (EASA, 2022).

Son on yılda dijital dönüşüm, havacılık sektöründe veri analitiği ve otomasyon tabanlı çözümlerin önünü açmış; özellikle yapay zekâ tabanlı sistemler, operasyonel süreçlerde anlamlı katkılar sağlamaya başlamıştır. Gelişmiş makine öğrenmesi algoritmaları, doğal dil işleme (NLP), büyük dil modelleri (LLM) gibi teknolojiler, metin tabanlı verilerin yapılandırılmasında yeni ufuklar açmış ve karar destek sistemlerinin doğruluğunu artırmıştır (McAfee & Brynjolfsson 2017; Nanyonga vd.; 2025).

Yapay zekâ sistemlerinin uçuş raporlarının analizine entegre edilmesi, sadece veri hacminin yönetilmesi açısından değil; aynı zamanda olayların bağlamsal anlamlandırılması, eğilimlerin tespiti ve sistemsel risklerin öngörülmesi açısından da çığır açıcı niteliktedir. Geleneksel sınıflandırma modelleri, genellikle sabit kurallara ve anahtar kelimelere dayanırken; güncel YZ çözümleri bağlamdan bağımsız dil yapılarını analiz edebilmekte, çok dilli raporları işleyebilmekte ve geçmiş verilerle örüntü yakalayabilmektedir (New & Wallace, 2025).

Uçuş operasyonlarındaki YZ uygulamaları, aynı zamanda organizasyonel öğrenmeyi de destekleyen bir yapıya sahiptir. Raporlardan öğrenilen bilgiler, sadece mevcut olaylara müdahale etmeyi değil, gelecekteki operasyonlara yönelik stratejik planlamayı da mümkün kılar. Böylece YZ, sadece teknik bir sınıflandırma aracı değil, aynı zamanda bilgi üretiminde merkezî bir aktör haline gelmektedir (McKinsey, 2020).

Literatürde özellikle son dönemde yayımlanan sistematik derlemeler, havacılık emniyeti ve veri analitiği ilişkisinin giderek derinleştiğini ortaya

koymaktadır. Yapay zekânın sektöre entegrasyonu konusunda öne çıkan başlıca temalar arasında; emniyet tahmini, bakım optimizasyonu, yolcu davranışı analizi ve olay sınıflandırma yer almaktadır (Demir vd., 2024). Bu bağlamda, uçuş raporlarının sınıflandırılması, havayolu şirketleri için operasyonel mükemmeliyet hedefinin temel yapı taşlarından biri haline gelmektedir.

Türkiye gibi gelişmekte olan ve havacılık sektöründe küresel ölçekte büyüme gösteren ülkelerde, bu teknolojilerin benimsenmesi stratejik bir fırsat olarak değerlendirilmektedir. Gerek Türk Hava Yolları gibi büyük ölçekli taşıyıcılar, gerekse yeni havalimanı yatırımları, bu dönüşüm için uygun bir dijital zemin sunmaktadır. Ancak teknolojik yatırımların başarılı olması için kurumsal kültürün, mevzuatın ve insan kaynağının da eş zamanlı dönüşmesi gerekmektedir (TÜBİTAK, 2021).

Bu kitap bölümünde, Lufthansa Group tarafından geliştirilen ve Eurowings'te uygulanan AI Co-Validator sistemi üzerinden uçuş raporlarının YZ ile sınıflandırılma süreci incelenecektir. Ayrıca bu teknolojinin Türkiye'de uygulanabilirliği, etik ve yasal yönleri, işgücü etkileri ve geleceğe dönük perspektifleri ele alınacaktır. Bölüm, sadece teknik bir çözüm sunmakla kalmayıp, aynı zamanda havacılık sektöründeki dijital dönüşümün yönetim boyutunu da tartışmayı amaçlamaktadır.

## 2. Uçuş Raporlama Sistemleri ve Karşılaşılan Sorunlar

### 2.1 Raporlama Sürecinin İşleyişi

Raporlama süreçleri, havacılıkta emniyet yönetiminin temel taşı olarak kabul edilmektedir. Bu süreçte bilgi akışının doğruluğu ve zamanlaması, operasyonel karar alma mekanizmalarının etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Ancak mevcut sistemlerde bu akışın çoğu hâlâ insan tabanlı süreçlere dayanmaktadır. Bu durum, özellikle kritik olayların zamanında bildirilmesi ve değerlendirilmesi açısından belirli sınırlılıklar doğurmaktadır.

Uluslararası düzeyde farklı havacılık otoriteleri, emniyet raporlarının belirli bir standarda göre hazırlanmasını önerse de uygulamada bu standartların sahada tam karşılık bulamadığı görülmektedir. Özellikle serbest metin alanlarında çalışan personelin kişisel anlatım biçimi, kullanılan teknik terimler ve olayın tanımlanma şekli, sistematik veri işleme sürecini zorlaştırmaktadır (EASA, 2022).

Bazı havayolu şirketlerinde elektronik raporlama sistemleriyle entegrasyon sağlanmış olsa da bu sistemlerin çoğu olayları sadece belirli kategorilere ayırmakta ve metin analizine yönelik ileri düzey çözümlemelere



olanak tanımamaktadır (Demir vd., 2024). Bu nedenle, özellikle uçuş ekibi tarafından yazılan açıklayıcı bölümler, karar destek sistemleri için yeterince yapılandırılmış veri üretmemektedir.

Ayrıca, raporların işlenme sürecinde farklı birimler arasında oluşan zaman farkları, kritik durumlara geç müdahale edilmesine yol açabilmektedir. Örneğin, bir teknik arıza raporunun bakım birimiyle zamanında paylaşılmaması aynı uçakta benzer bir problemin tekrar yaşanmasına neden olabilir (Nanyonga vd., 2025a). Bu tür olaylar, manuel raporlama sistemlerinde sıkça karşılaşılan aksaklıklardan biridir.

Çok uluslu uçuş ekipleri arasında yaşanan dil farkları da süreci daha da karmaşık hâle getirmektedir. Özellikle İngilizce dışındaki dillerde hazırlanan raporların çeviri süreci, olayın bağlamının kaybolmasına ve bazı güvenlik sinyallerinin göz ardı edilmesine neden olabilmektedir.

Son dönemde bazı şirketler, raporların daha yapılandırılmış biçimde yazılmasını teşvik eden rehber sistemler geliştirmektedir. Bu sistemlerde, kullanıcıdan olayı adım adım anlatması istenmekte ve metin girişleri belirli alanlara yönlendirilmektedir. Ancak bu tür sistemlerin etkinliği, kullanıcı alışkanlıklarına ve eğitim düzeyine göre değişmektedir.

Raporlama süreçlerinin güvenilirliği, aynı zamanda kurum içi geri bildirim kültürüyle de ilişkilidir. Rapor yazan personelin, gönderdiği verilerin değerlendirildiğini ve sürece etki ettiğini bilmesi, sistemin sürekliliğini sağlar. Ancak geri bildirim eksikliği, zamanla raporlama motivasyonunun düşmesine ve kritik verilerin kaybolmasına neden olabilir (LIH, 2024).

Bu bağlamda, ileri düzey yapay zekâ çözümlerinin entegrasyonu yalnızca teknik bir ihtiyaç değil, aynı zamanda operasyonel sürdürülebilirlik için stratejik bir gereklilik hâlini almaktadır. Özellikle veri hacminin artması ve hızlı karar alma gerekliliği, manuel sistemlerin sınırlılıklarını daha görünür kılmakta; raporlama süreçlerinin yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmaktadır.

## 2.2 Mevcut Sistemin Sınırlılıkları

Mevcut sistemlerin en belirgin eksikliklerinden biri, raporların içerik bakımından standartlaşmamış olmasıdır. Serbest metin yapısında iletilen veriler, her personelin farklı anlatım biçimi nedeniyle homojen bir analiz altyapısı oluşturamamaktadır. Bu durum, büyük veri kümeleri içinde örüntü tespitini güçleştirir ve otomatik analiz araçlarının performansını sınırlı kılar (New & Wallace, 2025).

Dilsel çeşitlilik, sistematik sınıflandırmayı zorlaştıran bir başka temel faktördür. Özellikle Avrupa merkezli havayolu işletmelerinde, İngilizce dışındaki dillerde tutulan raporlar yeterince yapılandırılmadığı takdirde çeviri sürecinde bilgi kaybı yaşanabilmektedir (EASA, 2022). Bazı terimlerin bağlamsal karşılığı bulunamadığında, raporun anlamı bozulmakta ve bu da risk değerlendirmelerinde hatalara yol açmaktadır.

Ayrıca, manuel sistemlerde olayların sınıflandırılması büyük ölçüde analiz yapan kişilerin deneyimine bağlıdır. Bu kişisel yorum farklılıkları, aynı türdeki olayların farklı biçimlerde sınıflandırılmasına neden olabilir. Böyle bir durumda veri tutarlılığı zayıflar ve zaman içinde oluşturulan istatistiksel tablolar karar vericileri yanıltabilir (Binns, 2018).

Mevcut sistemlerin bir başka sorunu ise “gecikmeli müdahale” problemidir. Raporların işlenmesi uzun zaman aldığına, emniyetle ilgili potansiyel bir sorun ortaya çıkmadan önce gerekli önlemler alınamaz. Bu da reaktif bir yönetim anlayışına yol açar ve havacılık gibi sıfır tolerans gerektiren bir alanda ciddi riskleri beraberinde getirir (Nanyonga vd.; 2025b).

Algoritmik sınıflandırmanın uygulanabilirliği açısından bakıldığında, mevcut sistemlerin veriyi işlemeye uygun formatta sunmaması, veri madenciliği projelerinin başarısını doğrudan etkiler. Özellikle BERT, GPT veya LSTM gibi modellerin verimli çalışabilmesi için hem hacimli hem de etiketli veri kümelerine ihtiyaç duyulmaktadır (New & Wallace, 2025).

Personel eğitimi konusundaki eksiklikler de mevcut sistemin performansını olumsuz etkilemektedir. Raporlama yapan personelin teknik terimlere hâkim olmaması veya olayların yeterince ayrıntılı tanımlanmaması, verinin analiz edilebilirliğini düşürmektedir (TÜBİTAK, 2021). Bu bağlamda, sadece teknolojik değil, insan kaynağı ekseninde de yapısal dönüşüm ihtiyacı söz konusudur.

Bazı sistemlerde sınıflandırma sürecinin tamamı tek bir veri analistine bırakılmakta; bu da hem iş yükünü artırmakta hem de hata oranını yükseltmektedir. Özellikle büyük havayolu şirketlerinde, bu tür tekil bağımlılıkların uzun vadede sistem güvenilirliğini zayıflattığı görülmektedir.

Son olarak, mevcut manuel sistemler kurumsal hafıza oluşturmada yetersiz kalmaktadır. Benzer olayların tekrarlandığı durumlarda önceki raporların sistematik bir şekilde karşılaştırılabilmesi genellikle mümkün değildir. Yapay zekâ destekli sistemler ise bu hafızayı dijital ortamda inşa ederek, geçmişe dönük öğrenmeyi ve örüntü analizini kurumsal bir değere dönüştürebilir (Demir vd.; 2024).

### 3. AI Co-Validator Projesi: Kavramsal ve Teknik Arka Plan

#### 3.1 Projenin Amacı ve Kapsamı

AI Co-Validator projesi, havacılıkta emniyet odaklı raporlama süreçlerinde insan hatasını azaltmak, veri işleme hızını artırmak ve kurumsal öğrenmeyi teşvik etmek amacıyla tasarlanmıştır. Lufthansa Innovation Hub öncülüğünde geliştirilen bu proje, uçuş emniyet raporlarının dilsel analizini gerçekleştirebilen ve olayları otomatik olarak sınıflandırabilen bir yapay zekâ tabanlı sistem sunmaktadır (LIH, 2024).

Projenin en temel amacı, manuel olarak işlenen binlerce serbest metin formatındaki uçuş emniyet raporunu anlamlı veri kümelerine dönüştürerek karar destek sistemlerine entegre etmektir. Mevcut manuel süreçlerin operasyonel karar alma sürelerini uzattığı, hatta bazı emniyet risklerinin gözden kaçmasına neden olduğu raporlarla ortaya konmuştur (EASA, 2022).

Kapsam itibarıyla AI Co-Validator yalnızca Lufthansa'nın iç operasyonlarını değil, aynı zamanda Star Alliance'a bağlı diğer taşıyıcılarla da entegre çalışabilecek şekilde ölçeklenebilir bir mimaride kurgulanmıştır. Bu bağlamda sistemin çok dilli metinlerle başa çıkabilmesi, küresel operasyonlarda dil bariyerinin neden olduğu bilgi kayıplarını azaltmaktadır.

Proje kapsamında geliştirilen yapay zekâ altyapısı, doğal dil işleme (NLP) yöntemleriyle güçlendirilmiş, eğitilmiş modeller aracılığıyla metinleri anlama, bağlam çıkarma ve ön sınıflandırma yapma yeteneklerine sahiptir. Bu sayede uzman incelemesinden önce kritik içeriklerin önceliklendirilmesi mümkün hâle gelmektedir (New & Wallace, 2025).

AI Co-Validator, aynı zamanda kurumsal hafıza üretimini de desteklemektedir. Daha önce yaşanan benzer olayların benzerlik analizleri aracılığıyla tanımlanabilmesi, önleyici stratejilerin oluşturulmasını kolaylaştırmakta ve emniyet kültürünü pekiştirmektedir (Demir vd.; 2024).

Projeye entegre edilen analitik gösterge panelleri (Dashboard), yöneticilere özet istatistikler ve eğilim analizleri sunmakta; bu da olayların zaman içindeki dağılımı ve tematik yoğunluğu hakkında içgörü üretmektedir. Bu yaklaşım, veriye dayalı karar alma sürecini operasyonel bir norm hâline getirmektedir.

Lufthansa'nın bu projeye hedeflediği bir diğer unsur ise rapor yazma kültürünün desteklenmesi ve personelin geri bildirim döngüsüne aktif katılımının sağlanmasıdır. Yapay zekâ tarafından yapılan otomatik sınıflandırmalar, kullanıcıya geri bildirim olarak dönmekte ve rapor kalitesini artıracak öneriler sunmaktadır (LIH, 2024).

Son olarak, proje Lufthansa'nın sürdürülebilir dijitalleşme stratejisinin de bir parçası olarak görülmektedir. AI Co-Validator hem operasyonel verimliliği hem de emniyet kalitesini artırmayı hedefleyen entegre bir dijital dönüşüm aracıdır.

### 3.2 Sistem Mimarisi

AI Co Validator'ın sistem mimarisi, ölçeklenebilirlik, esneklik ve entegrasyon kabiliyeti göz önünde bulundurularak çok katmanlı bir yapı üzerinde inşa edilmiştir. Mimari yapı, veri alımından son kullanıcı arayüzüne kadar birbirine bağlı alt bileşenlerden oluşmaktadır (New & Wallace, 2025).

Sistemin ilk katmanında yer alan veri alma modülü, çeşitli kaynaklardan gelen uçuş emniyet raporlarını toplamaktadır. Bu modül, Lufthansa'nın mevcut operasyonel veri tabanlarıyla doğrudan entegredir ve her gün binlerce yeni veri girişiyle güncellenmektedir (Demir vd., 2024).

İkinci katman, doğal dil işleme motorudur. Burada raporlardaki serbest metin ifadeleri "tokenize" edilmekte, "lemmatizasyon" uygulanmakta ve belirli dil kalıplarına göre ön işleme tabi tutulmaktadır. Bu katman, çok dilli destek sayesinde Almanca, İngilizce ve Fransızca gibi yaygın dillerdeki raporları aynı anda değerlendirebilmektedir.

Üçüncü katman, yapay zekâ modelleme katmanıdır. Burada eğitilmiş sınıflandırma algoritmaları devreye girer. BERT, RoBERTa gibi dil modelleri kullanılarak raporlardaki olay tipleri (örneğin insan hatası, teknik arıza) önceden belirlenmiş sınıflara atanır (Nanyonga vd.; 2025a).

Veri güvenliği katmanı, sistemin en kritik bileşenlerinden biridir. Havacılık sektörü gibi yüksek regülasyona tabi bir alanda, kişisel veri koruma ilkeleri (örneğin GDPR) çerçevesinde işlem yapılması zorunludur. AI Co-Validator, hassas bilgileri maskeleyerek anonimleştirme süreçlerini otomatik yürütmektedir (EASA, 2022).

Sistem mimarisinde yer alan görselleştirme katmanı kullanıcılara özelleştirilebilir panolar sunar. Bu panolar sayesinde yöneticiler istedikleri zaman diliminde belirli bir kategoriye ait olayları analiz edebilir ve filtreleme yapabilir. Modüler yapının sağladığı en büyük avantajlardan biri, sisteme yeni algoritmalar veya dil modellerinin kolayca entegre edilebilmesidir. Bu da AI Co Validator'ı geleceğe dönük sürdürülebilir bir altyapı hâline getirmektedir.

Son olarak, sistemin açık API yapısı sayesinde farklı havacılık veri sistemleriyle entegrasyon kolayca sağlanmakta, çapraz analiz olanakları mümkün kılınmaktadır. Bu mimari tercih yalnızca Lufthansa'ya değil,

potansiyel olarak diğer operatörlere de uygulanabilirliği artırmaktadır (LIH, 2024).

### 3.3 Kullanılan Yapay Zekâ Modelleri

AI Co-Validator projesinde kullanılan yapay zekâ modelleri, doğal dil işleme alanındaki en güncel ve etkili tekniklerden seçilmiştir. Proje kapsamında hem önceden eğitilmiş (pre-trained) hem de özel olarak incelenmiş (fine-tuned) modeller kullanılmaktadır (New & Wallace, 2025).

Özellikle BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) modeli, metinlerin bağlamsal analizinde yüksek doğruluk oranı sunmaktadır. BERT'in çift yönlü kodlayıcı yapısı sayesinde, bir kelimenin yalnızca önceki değil aynı zamanda sonraki kelimelerle olan ilişkisi de dikkate alınarak anlam çıkarımı yapılmaktadır (Demir vd.; 2024).

Bu model, Lufthansa'nın geçmiş yıllarda toplanan etiketli emniyet raporlarıyla yeniden eğitilmiş ve uçuş operasyonlarına özgü kavramları daha iyi tanıyacak biçimde özelleştirilmiştir. Böylece "unstable approach" veya "late touchdown" gibi havacılığa özgü ifadeler doğru şekilde sınıflandırılabilir (LIH, 2024).

Ayrıca RoBERTa (Robustly Optimized BERT) modeli de alternatif olarak test edilmiştir. RoBERTa'nın daha büyük veri setlerinde daha hızlı öğrenme sağlaması, çok büyük hacimli verilerin işlendiği projelerde verimliliği artırmaktadır (Nanyonga vd.; 2025b).

Geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları da sistemde destekleyici olarak yer almaktadır. Örneğin Naive Bayes ve Random Forest algoritmaları, sınıflandırma modelinin doğrulama aşamasında karşılaştırmalı analiz için kullanılmıştır. Veri hacminin çok büyük olması nedeniyle, TensorFlow ve PyTorch tabanlı paralel işlem teknikleri kullanılarak model eğitimi bulut altyapısı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu sayede işlem süresi kısaltılmış ve sistem güncellemeleri daha dinamik hâle getirilmiştir.

Sistemde, kullanıcıdan gelen yeni verilerle sürekli olarak öğrenme sağlayan aktif öğrenme algoritmaları da uygulanmaktadır. Bu teknikle modelin düşük güven skoruyla sınıflandırdığı örnekler insan uzmanlara yönlendirilmekte, doğrulanan veriler tekrar modele beslenerek sistemin zamanla gelişmesi sağlanmaktadır (TÜBİTAK, 2021).

Sonuç olarak, AI Co Validator'ın yapay zekâ altyapısı, yalnızca mevcut teknolojiyi uygulamakla kalmayıp aynı zamanda havacılık sektörüne özgü bilgi sistemlerinin gereksinimlerini karşılayacak şekilde evrimsel bir modellemeye dayanmaktadır. Bu yönüyle proje, yapay zekânın yüksek

regölasyonlu sektörlerdeki uygulama potansiyeline dair önemli bir örnek teşkil etmektedir (EASA, 2022)

## 4. Uygulama Sonuçları ve Operasyonel Kazanımlar

### 4.1 Zaman ve İşgücü Verimliliği

AI Co-Validator sisteminin Lufthansa Group için uygulanması, zaman ve işgücü verimliliği açısından dikkate değer kazançlar sağlamıştır. Raporların manuel olarak sınıflandırılmasına göre çok daha hızlı ve tutarlı çıktılar sunan sistem, operatörlerin tekrar eden işlerle geçirdiği süreyi azaltarak stratejik analiz işlevlerine daha fazla odaklanmalarına imkân tanımıştır (AircraftIT, 2024).

AI Co-Validator, Lufthansa operasyonlarında yüz yüze rapor sınıflandırma süreçlerinde ortalama 30% ila 40% oranında zaman tasarrufu sağlamıştır (Polaris Aero, 2025). Bu kazanç, sistemin sürekli öğrenen yapısı sayesinde zamanla daha da artmaktadır. Analistler, otomatik öneri sistemlerinin sunduğu sınıflandırma tavsiyelerine güven duydukça, insan müdahalesi azaltılmakta ve kaynaklar daha verimli kullanılmaktadır (McKinsey, 2024).

Otomasyon sayesinde analistlerin sınıflandırma için ayırdığı süre azalmış, bu da acil durum sinyallerine daha hızlı müdahale imkânı yaratmıştır (Nanyonga vd., 2025a). Bu verimlilik artışı sadece zaman ve iş yüküyle sınırlı kalmamış, aynı zamanda bakım takip, kalite güvence ve emniyet raporlarının analizine ilişkin bölümlerdeki iş yükü de azalmıştır (AircraftIT, 2024).

Sistem, manuel hatalar nedeniyle oluşan tasnif tutarsızlıklarını ortadan kaldırarak operasyonel sürekliliğin korunmasına da katkı sağlamaktadır. Bu tutarlılık sayesinde, veriye dayalı karar alma süreçleri daha etkin çalışmaktadır.

Kazançlar yalnızca zamandan ibaret değildir; sistem ayrıca insan kaynağının yeniden dağıtılmasına da imkân tanımıştır. Analistler, manuel kodlama yerine olay analizine yoğunlaştırılarak kurumsal bilgi üretimi sürecine daha nitelikli katkılar sunmaktadır (McKinsey, 2024).

Sistem, standart çıktılarının çok düzenli bir biçimde üretilmesini sağladığı için raporlar arasındaki tutarlılığı da artırmaktadır. Bu durum, önceki dönemlerde sıkça karşılaşılan subjektif değerlendirme farklılıklarının ortadan kalkmasına yardımcı olmaktadır (TÜBİTAK, 2021).

Tüm bu kazançlar, kuruluşun insan kaynağını stratejik alanlara yönlendirme kapasitesini artırmış ve emniyet analitiğine daha fazla kaynak ayrılmasını olanaklı kılmıştır.

## 4.2 Emniyet Yönetimi Açısından Değer

AI Co-Validator sisteminin birincil katkısı, emniyet verisinin daha erken aşamada ve daha doğru şekilde analiz edilmesini sağlamasıdır. Bu durum, reaktif değil proaktif bir emniyet yaklaşımının hayata geçmesine olanak tanımaktadır (FAA, 2023).

Derin öğrenme tabanlı NLP modelleri (LSTM, sRNN), Avustralya Uçak Kaza Araştırma Dairesi (ATSB) gibi kurumların verileri üzerinde 87-90 % aralığında F1 skoruna ulaşmakta ve emniyet olaylarının çok yüksek doğrulukla sınıflandırılmasını mümkün kılmaktadır (Nanyonga vd., 2025a). F1 skoru makine öğrenimi ve derin öğrenme modellerinin sınıflandırma başarısını ölçmek için kullanılan bir metriktir. Kesinlik ve doğruluk kriterlerinin harmonik ortalamasıdır. Doğruluk (Accuracy) tüm tahminlerin içinde doğru olanların oranını, kesinlik (Precision) ise modelin olumlu dediği örneklerin gerçekten olumlu olma oranını ifade etmektedir. Precision yüksek ama Recall düşükse (ya da tersi) F1 bunu dengeleyerek göstermektedir. Bu yüzden özellikle emniyet raporları, kaza/olay sınıflandırmaları gibi dengesiz veri setlerinde (az sayıda kritik olayın varlığı) F1 skoru “accuracy” den daha anlamlı bir ölçü olmaktadır. Dolayısıyla %87-90 F1 skoru, modelin hem yanlış pozitifleri hem de kaçırılan vakaları düşük tutarak olayları yüksek doğrulukla sınıflandırabildiğini göstermektedir.

Sistem, olay analizlerinde sübjektiflik payını azaltarak daha objektif ve standardize bir değerlendirme yapısı oluşturmaktadır. Bu da kurumsal emniyet kültüründe tutarlılığın artmasına katkı sağlamaktadır (Polaris Aero, 2025).

Yapay zekâ destekli bu sınıflandırma yapılarının gece/gündüz, vardiya ya da merkez farkı olmaksızın tutarlı kararlar vermesi, önleyici emniyet tedbirlerinin daha erken devreye sokulmasını sağlamaktadır (AircraftIT, 2024).

Ayrıca, FAA tarafından yayınlanan “AI Safety Assurance Roadmap” gibi belgeler, bu tür sistemlerin yalnızca teknik değil aynı zamanda etik ve hukuki açılardan da entegre edilmesini önermektedir. Bu durum, emniyet yönetiminin daha kapsamlı bir biçimde ele alınmasına imkân tanımaktadır (FAA, 2023).

## 4.3 Karar Destek Sistemine Katkı

AI Co-Validator, sınıflandırma işlemleri sırasında her rapor için bir güven skoru (confidence score) üretir. Bu skor, karar destek sistemlerinde önceliklendirme ve iş akışını belirlemede temel bir kriter haline gelmektedir (AircraftIT, 2024).



Yüksek güven skoruna sahip raporlar otomatik olarak sistem tarafından işlenebilirken, düşük skorlular insan analistlere iletilmektedir. Bu hibrit model, McKinsey'in tanımladığı “yarı otonom karar destek sistemleri” süreçlerine uygundur (McKinsey, 2024).

Ayrıca, bu yapı geri besleme mekanizması ile donatılmıştır. Analistlerin yapacağı müdahaleler modelin öğrenmesini sağlamakta, bu da sistemin zamanla daha isabetli kararlar üretmesine katkı sunmaktadır (TÜBİTAK, 2021).

Benzeri AI tabanlı karar destek sistemleri, yolcu davranışlarının analizinden bakım planlamasına kadar farklı operasyonel alanlarda da başarıyla uygulanmakta ve kurumsal karar alma süreçlerine katkı sağlamaktadır (Demir vd.; 2024).

Son olarak, Polaris Aero tarafından geliştirilen VOCUS SMS platformunda yer alan benzeri özellikler, kullanıcı yazısına dayalı kategori eşleştirme yaparak sistemin veri girme ve işleme verimliliğini artırmaktadır (Polaris Aero, 2025).

## 5. Etik ve Regülasyon Açısından Perspektifler

### 5.1 Etik ve Şeffaflık Sorunları

Yapay zekâ sistemlerinin uçuş operasyonlarında sınıflandırma ve analiz amacıyla kullanılması, karar verme algoritmalarının nasıl çalıştığına dair bilgi eksikliğini gündeme getirir; bu da kullanıcıların ve paydaşların AI sistemine güven duymasını zorlaştırabilir (Park & Yoon, 2025). Özellikle “black-box” niteliğindeki derin öğrenme algoritmaları, modelin neden belirli bir karara ulaştığını açıklamakta yetersiz kalabilir; bu durum, son yıllarda giderek önem kazanan açıklanabilir yapay zekâ (XAI) yaklaşımının önemini artırmaktadır. XAI, algoritmanın işleyişini daha şeffaf kılarak kullanıcıların güvenini artırmayı hedeflemektedir (Arrieta vd., 2019).

Açıklanabilirlik eksikliği hem algoritmik önyargı riskini artırmakta hem de hatalı sınıflandırma durumlarında sorumluluğun belirlenmesini güçleştirmektedir (Hobbs & Li, 2023). Özellikle uçuş güvenliği gibi yüksek risk içeren sistemlerde, algoritmaların neden belirli bir raporu “olay” ya da “risk” olarak sınıflandırdığı açıkça ortaya konmalıdır. Aksi halde hatalı kararların tespiti ve düzeltilmesi süreçleri gecikebilir. Bu bağlamda etik sorumluluk sadece algoritmanın doğruluğu ile değil aynı zamanda karar sürecinin izlenebilirliği ile de doğrudan ilişkilidir.

AI Co-Validator gibi sistemlerde doğruluk skoru yüksek olsa da özellikle kritik olaylarda modelin hatalı etiketleme yapması halinde insan müdahalesinin göz ardı edilmemesi gerekir. Bu durum, sistem tasarımında etik bakış açısının ön planda tutulmasını gerektirir. Özellikle uçuş emniyetinde yapay zekânın destekleyici ancak nihai karar verici olmayan bir pozisyonda konumlandırılması, sistemin güvenliği ve etik uygunluğu açısından elzemdir (FAA, 2023).

Modelin şeffaflığı yalnızca teknik tasarımla sınırlı olmamalıdır. Kullanıcı arayüzü ve geri bildirim mekanizmaları da şeffaflığı destekleyecek şekilde yapılandırılmalıdır. Pilotların ve analiz ekiplerinin sınıflandırma kararlarının mantığını anlaması sistemi daha etkin ve güvenilir kılmaktadır (Anumula, 2025). Bu sayede, yapay zekâ sistemlerine karşı geliştirilen güven sorunu azaltılabilir.

Yapay zekâ algoritmalarındaki önyargı, dilsel çeşitlilik veya belirli terminolojilerde farklı performans gösterebilir. Bu durum, farklı kültürel ya da coğrafi bağlamlarda sınıflandırma doğruluğunun azalmasına ve sistemin ayrımcı sonuçlar üretmesine neden olabilir. Bu nedenle, algoritmaların adil, kapsayıcı ve tarafsız şekilde eğitilmesi etik açıdan büyük önem taşır.

Avrupa Komisyonu bünyesinde kurulan Avrupa Algoritma Şeffaflık Merkezi (ECAT), algoritmaların endüstriyel uygulamalarda nasıl daha şeffaf ve etik kullanılabileceğine yönelik standartlar ve rehberler geliştirmektedir (ECAT, 2025). Bu girişim, yapay zekâ sistemlerinin toplumsal kabulünü artırmakta ve düzenleyici çerçevelerle uyumlu hale getirmektedir. AI Co-Validator gibi sistemlerin bu tür standartlarla uyumlu olması, kurumsal ve kamusal düzeyde güven oluşturmak açısından hayati önem taşır.

Nature dergisinde yayımlanan Park ve Yoon (2025) çalışması, yapay zekâ sistemlerinde “güven zinciri” yaklaşımı ile şeffaflığın nasıl yapılandırılabileceğini detaylı biçimde ortaya koymaktadır. Sistem tasarımının her aşamasında şeffaflığın gözetilmesi, yalnızca sonuçların değil sürecin de denetlenebilirliğini sağlar. Bu hem kullanıcı deneyimini geliştirir hem de kurum içi hesap verebilirlik düzeyini yükseltir.

Sonuç olarak, uçuş emniyetinde AI sistemlerinin kabulü yalnızca teknik performansa değil; aynı zamanda şeffaflık, etik denetlenebilirlik ve sorumluluğun açıkça tanımlanmış olmasına bağlıdır. AI Co-Validator gibi projelerde, etik tasarım ilkelerinin entegrasyonu ve açıklanabilirliğin sağlanması, teknolojik yeniliğin sorumlu biçimde hayata geçirilmesi açısından temel önemdedir.

## 5.2 Regülasyon ve Denetlenebilirlik

Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından yayımlanan “AI Safety Assurance Roadmap” adlı belge, havacılıkta yapay zekâ kullanımına yönelik güvenlik temelli regülasyon ilkelerini detaylı şekilde ortaya koymaktadır. Bu belge hem teknik yeterlilik hem de etik sorumluluklar açısından kapsamlı bir denetim modeli önermekte; sabit model (learned) ve dinamik model (learning) ayrımı yaparak her iki yapının da farklı değerlendirme ve sertifikasyon süreçlerine tabi tutulması gerektiğini savunmaktadır (FAA, 2023).

Avrupa Birliği’nin Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) kapsamında otomatik karar süreçlerine karşı bireylerin “insan müdahalesi hakkı” ve “kararın açıklanması hakkı” (right to explanation) korunmaktadır. Bu yaklaşımlar, yapay zekâ sistemlerinin karar alma süreçlerini yalnızca algoritmalara bırakmamakta; aynı zamanda bireylerin bu süreçlere itiraz edebilme ve anlamlandırma hakkını tanımaktadır (FATE, 2025).

Avrupa Komisyonu, algoritmik şeffaflık ve etik kullanım için sorumlu yapay zekâ regülasyonlarını geliştirerek, ECAT aracılığıyla sektörler arası denetim mekanizmaları önermektedir (ECAT, 2025). Bu kapsamda geliştirilen çerçeveler, sistemlerin izlenebilirliğini ve hesap verebilirliğini sağlamayı amaçlamaktadır. AI Co-Validator gibi yüksek hassasiyetli sistemlerin bu standartlara uygun geliştirilmesi gerekmektedir.

SESAR Joint Undertaking’in HUCAN projesi, hava trafik yönetimi özelinde yapay zekânın nasıl sertifikalandırılabilceğini ele almakta ve güvenlik ile regülasyon arasındaki dengenin nasıl sağlanacağına dair öneriler geliştirmektedir (Lanzi vd., 2024). Bu proje, uçuş güvenliği açısından yapay zekâyı dayalı sistemlerin bağımsız denetim ve test protokollerine tabi olması gerektiğini vurgulamaktadır.

Massachusetts Institute of Technology (MIT) gibi önde gelen akademik merkezler, havacılık sektörünün yapay zekâ deneyimlerinden yola çıkarak sağlık sektörü gibi diğer alanlara yönelik etik regülasyon önerileri sunmaktadır. Burada ortak vurgu, sertifikasyon süreçlerinin şeffaf, izlenebilir ve kurumsal sorumluluğu açıkça tanımlayan yapılarla desteklenmesidir (Ouyang & Jameel, 2024).

İngiltere’de önerilen AI hata ve kötüye kullanım kayıt sistemi, güvenlik kritik sektörlerde yapay zekâ kaynaklı hataların merkezi bir yapı tarafından izlenmesini ve raporlanmasını önermektedir (The Guardian, 2024). Bu yapı, regülasyonun sadece önleyici değil, aynı zamanda geriye dönük izleme ve düzeltme kapasitesi de olması gerektiğini göstermektedir.

ABD’de kamu kurumlarında kullanılan yapay zekâ sistemlerine yönelik yeni düzenlemeler, şeffaflık, insan denetimi ve algoritmik ayrımcılığı önleme ilkelerini ön plana çıkartmıştır. 2024 sonuna kadar federal kurumlar, kullandıkları AI sistemlerinde kullanıcıya bilgi verme ve sistemin güvenilirliğini ispat etme sorumluluğunda önemli adımlar atmıştır (Tech Policy, 2025).

Son olarak, AI Co-Validator gibi sistemlerde regülasyona uyumluluk yalnızca teknolojik yeterlilikle değil; aynı zamanda etik sorumlulukların, insan denetiminin ve algoritmik şeffaflığın düzenlemelerle garanti altına alınmasıyla mümkündür. Bu tür sistemlerin sürekli denetlenebilir olması hem emniyet standartlarını korumakta hem de kamu güvenini sağlamaktadır.

## 6. Türkiye’de Uygulama Potansiyeli

### 6.1. Altyapı ve İhtiyaçlar

Türkiye’de yerleşik havayolu işletmeleri her gün binlerce operasyon raporu üretmektedir. Bu raporların hâlâ büyük ölçüde manuel süreçlerle işlenmesi, analiz hızını sınırlamakta ve güvenlik ekiplerinin müdahale süresini uzatmaktadır (Yesilbaş & Oktay, 2024). Otomatik sınıflandırma sistemlerinin devreye alınması iç hat yoğun rotalarda personel ihtiyacını azaltmakta, analiz hizmetlerini hızlandırmakta ve kritik emniyet kararlarının daha kısa sürede alınmasına olanak vermektedir.

Manuel raporlama süreçlerine dayalı sistemler, eğitim seviyesi ve değerlendirme subjektifliklerinden dolayı sınıflandırmalarda tutarsızlık oluşturmaktadır. Yapay zekâ temelli otomasyon sistemleri, yüksek doğruluklu sonuçlar sunarak zaman kaybını önlemekle birlikte veri kalite standartlarını da yükseltebilir (Yesilbaş & Oktay, 2024). Özellikle uçuş emniyeti raporlarının işlenme süreleri modelle otomatikleştirildiğinde, operasyonel dayanıklılık açısından önemli kazanımlar elde edilebilir.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) bilgi sisteminin dijital altyapısı veri entegrasyonuna açık bir yapıya sahiptir. ICAO tarafından İstanbul’da düzenlenen “Global Implementation Support Symposium”da, SHGM yetkilileri dijitalleşme ve yapay zekâ politikalarının Türkiye’de hızla ilerlediğini vurgulamıştır. Bu yapı, ulusal düzeyde uçuş verilerinin merkezi olarak toplanması ve analiz edilmesine uygun bir zemin sunmaktadır.

Türkiye’nin son 20 yıldaki havacılık yatırımları hem yolcu talebini hem de dijitalleşme kapasitesini artırmıştır. Yeni nesil İstanbul Havalimanı gibi büyük ölçekli projeler hem veri altyapısının hem de analitik sistemlerin kurulmasını mümkün kılmaktadır (Aksoy & Ömer, 2023). Bu yatırımlar,

yapay zekâ çözümlerinin uygulama alanını dijital bir uçuş veri ortamı oluşturmak açısından zenginleştirmektedir.

Türkiye’de havayolu lojistik, yer hizmetleri ve bakım ekipmanlarıyla koordineli çalışan uçuş güvenliği yönetim sistemleri (SSP/SMS) yasal zeminle desteklenmektedir (Yesilbaş & Oktay, 2024). Bu yasal çerçeve, yapay zekâ destekli raporlama sistemlerinin güvenlik kültürüne entegre edilmesi için teknik gereklilikleri sağlamaktadır.

THY’nin “Red Hat OpenShift AI” platformu gibi örnek projeleri uçuş operasyonlarından dinamik fiyatlandırma, bakım öngörülleri ve operasyon analitiğine kadar birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır (Red Hat, 2025). Bu uygulamalar, havacılık alanında yerli yapay zekâ modellerinin kullanılabileceğini gösteren önemli bir altyapı örneğidir.

Türkiye’nin araştırma altyapısı da bu dönüşümde kritik önemdedir. Özellikle Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi gibi kuruluşlar havacılık ve yapay zekâ alanında fiziksel ve akademik altyapıya sahiptir. Bu kurumlar, ulusal düzeyde öngörü ve sınıflandırma sistemlerinin geliştirilmesi için eğitimli personel yetiştirmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye’nin havacılık sektöründe yapay zekâ odaklı çözümler için hem teknik altyapısı hem de kurumsal uygunluğu mevcuttur. THY gibi lider kuruluşların dijital dönüşüm stratejileri ile SHGM’nin düzenleyici yapısı bu sürecin güvenli ve sürdürülebilir biçimde ilerlemesini desteklemektedir.

## 6.2. Yerli Sistem Geliştirme Olanakları

Türkiye’de üniversiteler, SHGM ve havayolu işletmeleri arasında kurulacak iş birlikleri, yerli yapay zekâ tabanlı raporlama platformlarının geliştirilmesine olanak sağlayabilir. TÜBİTAK’ın “Artificial Intelligence Ecosystem Call 2025” gibi destek programları bu tür konsorsiyumların kurulmasını teşvik etmektedir (TÜBİTAK, 2025). Bu yapılar, üniversiteler ile teknoloji firmalarını kapsayan konsorsiyumların kurulmasına ve yerli platformların geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021–2025) yerli teknoloji geliştirme, veri güvenliği ve dışa bağımlılığın azaltılması hedeflerine odaklanmaktadır (Digwatch, 2021). Bu strateji çerçevesinde, havacılık sektörüne özgü yapay zekâ çözümlerinin geliştirilmesi, ulusal güvenlik ve egemenlik açısından öncelikli bir alan olarak değerlendirilmiştir.

TÜBİTAK tarafından desteklenen “hackathon” ve yarışmalar, genç araştırmacıların yerli projeler geliştirmesinde önemli bir teşvik mekanizması

sunmaktadır. METU ve Aksaray Üniversitesi gibi kurumlar, savunma odaklı AI projelerinde uluslararası başarı elde ederek, sivil havacılık sistemlerine aktarılabilecek yöntemler üzerinde çalışmaktadır. Bu kazanımlar, sektörel inovasyonu desteklemektedir.

Savunma sanayiindeki yapay zekâ tecrübesinin “dual-use” uygulamalar yoluyla sivil havacılığa transfer edilmesi de mümkündür. Bayraktar TB2, Hürjet ve Kızılelma projelerinin AI entegrasyonu bu süreci destekleyici örneklerle dönüşmektedir. Bu gelişmeler, sivil uygulamalarda kullanılacak AI sistemlerinin geliştirilmesi için referans altyapı oluşturabilecek kapasitedir.

Türkiye Technology Center (GE Aerospace) gibi inovasyon merkezlerinin varlığı, havacılık özelinde ileri analitik ve uçuş verisi optimizasyonu çalışmalarını desteklemektedir (Aviation Turkey, 2025). Bu merkezler, veri bilimi ve uçuş güvenliği sistemlerinin entegre edilmesi ile yerli çözümler üretilmesine katkı sağlamaktadır.

Yerli AI raporlama platformlarının geliştirilmesi, veri mahremiyeti ve ulusal egemenlik açısından önemlidir. NAIS stratejisi (National Artificial Intelligence Strategy), verinin Türkiye içinde işlenmesi ve yurt dışı bağımlılığının azaltılmasına vurgu yapmaktadır (Digwatch, 2021). Bu yaklaşımla geliştirilecek sistemler, güvenlik standartlarına daha kolay uyum sağlayabilir.

Akademik kuruluşların yanı sıra özel sektörün AI ekosistemi hızla genişlemektedir; 2025 itibarıyla yüzlerce AI startup’ı faaliyet göstermektedir (TÜBİTAK, 2025). Bu işletmeler yerli çözüm geliştirme kapasitesine katkı sağlamakta, sektörel inovasyon potansiyelini artırmaktadır.

Ayrıca yerel sistemlerin test, sertifikasyon ve regülasyon süreçlerinde SHGM kritik rol üstlenebilir. SHGM’nin ICAO ve EASA standartlarına uyumlu yapısı, yerli platformların denetlenebilir, güvenilir sistemler haline gelmesini destekleyecek niteliktedir (Yesilbaş & Oktay, 2024). Böylece, sistemlerin uluslararası standartlarda çalışması sağlanabilir.

Sonuç itibarıyla, Türkiye’nin hem akademik hem kurumsal araçları yerli yapay zekâ tabanlı raporlama sistemlerinin geliştirilmesini desteklemektedir. Bu sistemler, havacılık operasyonlarının güvenlik ve verimlilik açısından stratejik dönüşümünü hızlandırabilir.

### 6.3 Regülasyon ve Politika Çerçevesi

Yapay zekâ sistemlerinin sivil havacılıkta kullanımı, mevcut mevzuatlarla sınırlandırılmayacak kadar karmaşık bir yapıya sahiptir. Türkiye’de SHGM tarafından yürütülen düzenlemeler, klasik bilgi sistemleri için uygun olsa da

özerk karar alma yeteneğine sahip yapay zekâ sistemleri için güncellenmesi gerekmektedir. Avrupa Birliği'nin 2021 yılında yayınladığı Yapay Zekâ Yasası (AI Act), bu alanda öncü bir model sunmakta ve risk-temelli sınıflandırma yaklaşımı ile yüksek riskli sistemlerin denetimini zorunlu kılmaktadır (European Commission, 2021).

Havacılık sektöründe kullanılan yapay zekâ sistemleri hem operasyonel hem de güvenlik açısından yüksek riskli sistemler kategorisine girmektedir. Bu sistemlerin karar alma süreçlerinin şeffaf olması, yani “açıklanabilir yapay zekâ” (explainable AI) ilkelerine göre tasarlanması büyük önem taşır (European Commission, 2019). Türkiye’de geliştirilecek politikaların da bu prensipler doğrultusunda oluşturulması sistem güvenilirliğini artıracaktır.

Regülasyonlar sadece teknolojik değil aynı zamanda etik boyutları da kapsamalıdır. Özellikle karar verme süreçlerinde insan-makine etkileşimi ve sorumluluk paylaşımı kritik hale gelir. Türkiye’nin bu süreçte etik ilkeleri de içeren bir düzenleyici çerçeve oluşturması kamu güvenliği açısından önem arz etmektedir. Yapay zekânın uçuş güvenliğinde karar destek sistemleri olarak kullanılması, regülasyonlarda insan merkezli kontrol mekanizmalarının yeniden tanımlanmasını gerektirmektedir.

Türkiye, Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) ile iş birliği yaparak yerli politika çerçevesini küresel normlarla uyumlu hâle getirme fırsatına sahiptir. ECAC üyeliği kapsamında alınacak ortak kararlar regülasyonların tutarlılığını ve uygulanabilirliğini artıracaktır. Aynı zamanda Türkiye’nin stratejik coğrafi konumu, bölgesel bir yapay zekâ uygulama merkezi olması için yasal altyapısını güçlendirmesini gerekli kılmaktadır.

Yapay zekânın uçuş operasyonlarında uygulanabilirliği yalnızca teknolojik kabiliyetle değil, bu teknolojiyi düzenleyen ve yöneten kurumsal yapıların esnekliği ve güncelliği ile doğrudan ilişkilidir. Türkiye’nin, ulusal strateji belgeleri ile uyumlu, etik ve teknik standartları içeren bir regülasyon çerçevesi oluşturması, bu teknolojilerin güvenli ve etkili biçimde benimsenmesini sağlayacaktır (CBDDO, 2021).

#### 6.4 İnsan Kaynağı ve Eğitim Ekosistemi

Yapay zekâ destekli havacılık sistemlerinin başarısı yalnızca algoritmaların doğruluğuna değil, bu sistemleri tasarlayacak ve yönetecek insan kaynağının niteliğine bağlıdır. Türkiye’de havacılık alanında nitelikli insan gücü mevcuttur ancak yapay zekâ uzmanlığı ile bu alanın entegrasyonu hâlâ sınırlıdır. Bu nedenle hem mühendislik hem de havacılık eğitimi veren kurumların programlarını dönüştürmeleri gerekmektedir. Özellikle teknik üniversiteler tarafından çok disiplinli eğitim programları geliştirilerek hem



sivil hem askeri havacılık alanına yapay zekâ okuryazarı profesyoneller yetiştirilmesi önemlidir. Ayrıca bu merkezler, sektörel iş birlikleri ile hem eğitim hem de araştırma uygulamalarını harmanlayacak yapılar kurmalıdır.

Havayolu işletmelerinin kendi iç eğitim programlarını genişletmeleri de önemli bir stratejidir. Bu işletmeler bakım, emniyet ve operasyon yönetimi ekiplerine yönelik sürekli eğitimler düzenleyerek çalışanlarının yapay zekâ sistemlerini anlama, yorumlama ve kullanma becerilerini artırabilir. Bu sayede sistemlerin verimliliği ve güvenilirliği artabilecektir.

Uluslararası havacılık eğitim kurumları ile yapılacak ortak çalışmalar, Türkiye’deki eğitim altyapısının uluslararası geçerliliğini de artıracaktır. Özellikle EASA onaylı programlara entegre edilecek YZ modülleri, sertifikasyon süreçlerini destekler nitelikte olacaktır (European Commission, 2021). Böylece Türkiye, sadece kullanıcı değil aynı zamanda ihraç edilebilir insan kaynağı üretiminde de avantajlı konuma gelebilecektir.

Uzun vadede Türkiye’nin havacılık sektöründe dijital dönüşümünü sürdürülebilir kılabilecek temel unsur, eğitim sisteminin bu dönüşümü destekleyecek şekilde yeniden yapılandırılmasıdır. Yapay zekâ ve havacılık ekseninde oluşturulacak akademik-sanayi-kamu iş birlikleri, yeni nesil uzmanlar yetiştirilmesini mümkün hale getirebilecektir.

## 6.5 Ekonomik Etki ve Yatırım Alanları

Yapay zekâ teknolojilerinin havacılıkta kullanımı yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda sektöre yeni yatırım alanları kazandırır. Türkiye’de iç hat ve dış hat yoğunluğu dikkate alındığında, otomatik raporlama sistemlerinin uygulanması hem doğrudan hem de dolaylı ekonomik fayda yaratacaktır (KPMG, 2021). Raporlama süresinin kısalması, karar alma hızını artırarak şirketlerin maliyetlerini azaltıcı özelliğe sahiptir.

Yerli yazılım ve yapay zekâ girişimlerinin bu alana yönlendirilmesi katma değerli ürünlerin artmasına aracılık etmektedir. TÜBİTAK ve KOSGEB destekli girişim programları ile yapay zekâ tabanlı sistemlerin yerli firmalar tarafından geliştirilmesi, dışa bağımlılığı azaltırken teknoloji ihracatını da destekleyecektir (TÜBİTAK, 2021). Bu tür yatırımlar, Türkiye’nin dijital ekonomiye geçişini hızlandıracaktır.

Ekonomik olarak en büyük kazanım, insan kaynağı tasarrufu ve zaman maliyetinin düşmesidir. Günümüzde manuel raporlama ve veri işleme süreçleri ciddi zaman ve kaynak gerektirmektedir. Yapay zekâ sistemleri sayesinde bu işlemler saniyeler içinde gerçekleştirilebilir ve bu durum, işgücü

yeniden dağılımını tetikleyerek yüksek katma değerli alanlara yönelmeyi mümkün kılar.

Uçuş operasyonlarındaki aksaklıkların azaltılmasıyla birlikte, müşteri memnuniyeti artacak ve dolaylı gelirler de yükselecektir. Yolcu güvenliği, uçuş sürekliliği ve zamanında kalkış oranları gibi göstergeler üzerinde olumlu etkiler yaratacak yapay zekâ uygulamaları, şirketlerin marka değerini ve rekabetçiliğini artıracaktır. Türkiye'nin bölgesel havacılık merkezine dönüşüm hedefi açısından bu tür yatırımlar stratejik önem addetmektedir.

Uzun vadede yapay zekâ sistemlerinin havacılık dışında da etkileri olacaktır. Örneğin sigorta sektöründe risk analizleri, enerji yönetiminde tahminlemeler veya gümrüklerde denetim sistemleri gibi uygulama alanları doğacaktır. Türkiye'nin bu teknolojiyi öncelikli sektörlerde uygulaması, diğer alanlara da ölçeklenebilir faydalar sağlayacaktır.

## 6.6 Veri Güvenliği ve Altyapı Uyumu

Yapay zekâ sistemlerinin başarısı, büyük hacimli ve kaliteli verilere dayanır. Türkiye'de SHGM ve havayolu firmaları tarafından toplanan operasyonel verilerin bütünlüğü, gizliliği ve güvenliği, bu sistemlerin güvenilirliği açısından kritik önemdedir. Ancak verilerin çoğu hâlâ manuel olarak saklanmakta ve işlenmektedir.

Veri standardizasyonu eksikliği, yapay zekâ sistemlerinin doğruluğunu ve güvenliğini olumsuz etkileyebilir. Uçuş operasyon raporlarının dijitalleştirilmesi ve tek formatta işlenebilir hale getirilmesi, sistem performansını doğrudan artıracaktır (ThinkTech, 2020). Bu nedenle havayolu firmalarının ve kamu otoritelerinin ortak veri altyapıları kurmaları gereklidir.

Ayrıca, KVKK ve GDPR gibi veri koruma düzenlemeleri kapsamında, kişisel ve kurumsal bilgilerin işlenmesinde etik ilkeler gözetilmelidir. Yapay zekâ sistemlerinin öğrenme süreçlerinde anonimleştirme ve şifreleme tekniklerinin kullanılması, veri güvenliğini güçlendirir (EDPB, 2022). Bu bağlamda yerli sistemlerin bu standartlarla uyumlu biçimde geliştirilmesi kritik öneme sahiptir.

Siber güvenlik tehditleri de veri altyapısını doğrudan etkileyen bir faktördür. Türkiye'nin ulusal siber güvenlik stratejileri kapsamında havacılık altyapılarını kapsayan özel koruma planları geliştirmesi gereklidir. Özellikle uçuş verileri ve uçuş sonrası raporların bütünlüğü, saldırılara karşı güvence altına alınmalıdır (UAB, 2023).

Veri yönetimi ve güvenliği, sadece teknik değil aynı zamanda stratejik bir konudur. Türkiye, veri egemenliğini koruyarak bu verileri yerli sistemlerle işleyecek bir altyapı kurduğunda, dışa bağımlılığı azaltırken stratejik özerkliğini de pekiştirmiş olacaktır.

## 6.7 Uluslararası İş Birlikleri ve Stratejik Konum

Türkiye'nin havacılıkta yapay zekâ entegrasyonu sürecinde, uluslararası iş birlikleri stratejik öneme sahiptir. Avrupa Birliği, ICAO ve IATA gibi kuruluşlarla teknik ve politik iş birliklerinin geliştirilmesi, sistemlerin küresel normlara uygun biçimde tasarlanmasına destek olacaktır. Türkiye'nin bu kuruluşlarla uyumlu projeler üretmesi, küresel havacılık sistemine entegrasyonunu güçlendirecektir.

Orta Doğu, Balkanlar ve Orta Asya pazarlarına komşu olan Türkiye, bölgesel teknoloji merkezi olma potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda, İstanbul Havalimanı gibi altyapı projeleri üzerinden YZ destekli operasyon sistemleri pilot uygulama alanları olarak kullanılabilir. Böylece, Türkiye sadece kullanıcı değil aynı zamanda bölgesel tedarikçi rolüne de geçebilir.

Teknolojik iş birlikleri çerçevesinde, Avrupa'daki üniversitelerle ortak araştırma projeleri geliştirilmesi, bilgi paylaşımı ve teknoloji transferi süreçlerini hızlandıracaktır. Horizon Europe gibi programlara katılım hem finansman hem de Ar-Ge kapasitesinin artırılması açısından önemlidir (European Commission, 2021).

Ayrıca Star Alliance üyeleri arasında yapılacak teknoloji paylaşımı anlaşmaları, YZ sistemlerinin uluslararası test sahalarında uygulanmasına olanak tanır. Bu sayede Türkiye, sistem güvenilirliği ve standardizasyonu konusunda liderlik rolü üstlenebilir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin stratejik coğrafi konumu, gelişmiş havalimanı altyapısı ve insan kaynağı potansiyeli, yapay zekâ temelli havacılık sistemlerinin uluslararası düzeyde yaygınlaştırılması için güçlü bir temel oluşturmaktadır. Bu potansiyelin değerlendirilmesi için çok yönlü uluslararası iş birliklerinin tesis edilmesi gereklidir.

## 7. Geleceğe Yönelik Öngörüler

Yapay zekâ çözümlerinin uçuş operasyonlarında yalnızca rapor sınıflandırma ile sınırlı kalmayacağı; bakım, yakıt yönetimi, kriz müdahale sistemleri ve operasyon planlaması gibi alanlara yayılacağı öngörülmektedir. AI Co-Validator benzeri projeler bu dönüşümün öncü örnekleri olarak kalıcı bir etki oluşturabilir. Ancak bu başarı yalnızca teknik yeterlilikle değil,

aynı zamanda organizasyonel dönüşüm ile yasal ve etik uyum süreçlerinin bütünselliğiyle sağlanabilecektir.

## Sonuç

Yapay zekânın (YZ) havacılık sektörüne entegrasyonu, yalnızca teknolojik bir yenilik değil aynı zamanda organizasyonel değişimin bir tetikleyicisidir. Uçuş operasyonları gibi yüksek riskli ve veri yoğun ortamlarda YZ sistemleri, karar destekten süreç otomasyonuna kadar çok katmanlı roller üstlenebilir hale gelmiştir. AI Co-Validator projesi, bu kapsamda geliştirilen ve uygulamaya geçirilen somut örneklerden biri olarak dikkat çekmektedir.

Günümüz havacılık ekosistemi giderek daha fazla veri üretmekte ve bu verinin gerçek zamanlı analizini talep etmektedir. Uçuş raporlarının anlık olarak analiz edilmesi, sadece bireysel olayların değil sistemik problemlerinin de tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda YZ tabanlı sınıflandırma ve analiz sistemleri, veri zenginliğini bilgiye, bilgiyi ise öngörüye dönüştüren stratejik araçlar olarak değerlendirilmektedir (Nanyonga vd.; 2025).

YZ sistemlerinin uçuş güvenliğine katkısı, reaktif süreçlerden proaktif süreçlere geçişin hızlanmasında da kendisini göstermektedir. Geleneksel olarak kazalar ya da olaylar yaşandıktan sonra müdahale edilen bir alanda, YZ'nin sunduğu erken uyarı mekanizmaları sayesinde olaylar henüz oluşmadan önce tahmin edilebilir hâle gelmektedir. Bu durum hem maliyetlerin azaltılması hem de insan hayatının korunması açısından hayati bir kazanımdır (Demir vd., 2024).

Ancak teknolojinin başarısı, sadece sistemin doğruluk oranlarıyla değil aynı zamanda sistemin sektörel kabulü ve yasal uyumluluğu ile de doğrudan ilişkilidir. AI Co-Validator gibi sistemler yüksek doğrulukta çalışsalar dahi, havayolu şirketlerinin güvenini kazanamadıkları sürece operasyonel fayda üretemezler. Bu nedenle YZ çözümlerinin şeffaflık, denetlenebilirlik ve etik ilkeler doğrultusunda tasarlanması zorunluluktur (Binns, 2018; European Commission, 2021).

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, yüksek yolcu hacmine sahip hava yolları ve modern havalimanı altyapısı, YZ sistemlerinin entegrasyonu için uygun bir zemin sunmaktadır. Ancak bu entegrasyonun sürdürülebilir olması, yalnızca teknolojik değil aynı zamanda kurumsal dönüşümün sağlanmasıyla mümkündür. Özellikle yerli algoritmaların geliştirilmesi ve veri mahremiyetine ilişkin ulusal düzenlemelerin yapılması bu dönüşümün önünü açacaktır (TÜBİTAK, 2021).

YZ'nin sunduğu fırsatların yanı sıra siber güvenlik ve algoritmik tarafılık gibi riskler de göz ardı edilmemelidir. Uçuş güvenliği ile ilgili kararların YZ sistemleri tarafından alınması, hatalı sınıflandırmaların ciddi sonuçlara yol açabileceği bir ortam yaratır. Bu nedenle insan denetimi ve yapay zekâ iş birliğinin dengeli bir şekilde kurgulanması elzemdir. Tam otomasyon yerine, denetimli otomasyon modelleri daha uygulanabilir ve güvenilir bir yol olarak öne çıkmaktadır (McKinsey, 2020).

Geleceğe dönük olarak, YZ sistemlerinin havacılık operasyonlarında sadece raporlama değil; uçuş planlama, rotalama, bakım öngörülleri ve kriz yönetimi gibi alanlara da entegre edileceği öngörülmektedir. Bu çok yönlü kullanım, havacılık sektörünün daha esnek, dayanıklı ve akıllı bir yapıya evrilmesini sağlayacaktır.

Sonuç olarak, yapay zekânın uçuş operasyonlarında kullanımı, sektördeki güvenlik ve verimlilik dengesini yeniden tanımlamakta, geleneksel süreçleri yeniden yapılandırmaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan pazarlar için bu tür sistemlerin erken benimsenmesi, yalnızca rekabet avantajı değil, aynı zamanda global havacılık normlarına daha hızlı entegrasyon anlamına gelmektedir. Bu bağlamda YZ destekli güvenlik sistemleri sadece teknik bir yatırım değil, aynı zamanda stratejik bir vizyonun ifadesidir.

## References

- AircraftIT (2024). ASQS and Lufthansa Industry Solutions unveil revolutionary AI Co-Validator- a game changer for aviation report processing. ASQS and Lufthansa Industry Solutions Unveil Revolutionary Ai Co-Validator:A Game-Changer for Aviation Report Processing, 06.08.2025.
- Aksoy, Cenk & Dursun, Ömer. (2018). A General Overview of the Development of the Civil Aviation Sector in Turkey. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*. 17. 1060-1076.
- Anumula, Sumanth. (2025). Aviation Equity through Digital Scheduling Transparency: Transforming Pilot Experience through Explainable AI. *International Journal of Computing and Engineering*. 7. 53-64.
- Arrieta, Alejandro Barredo, Natalia Díaz-Rodríguez, Javier Del Ser, Adrien Ben- netot, Siham Tabik, Alberto Barbado, Salvador García, Sergio Gil-Ló- pez, Daniel Molina, Richard Benjamins, Raja Chatila, Francisco Her- rera (2019). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, Taxo- nomies, Opportunities and Challenges toward Responsible AI. *arXiv*. [1910.10045v2] Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, Taxonomies, Opportunities and Challenges toward Responsible AI, 06.08.2025
- Aviation Turkey (2025). *AI in the Sky Conference*, Türkiye. Aviation Turkey, 06.08.2025
- Binns, R. (2018). Algorithmic accountability and and public reason. *Philosophy & technology*, 31(4), 543-556.
- CBDDO (2021). *Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2021–2025*. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi - Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2021-2025, 09.09.2025
- Demir, G., Moslem, S., & Duleba, S. (2024). Artificial intelligence in aviation safety: Systematic review and biometric analysis. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17, 279.
- digwatch (2021). *Turkey National Artificial Intelligence Strategy 2021–2025*. The Turkey National Artificial Intelligence Strategy (2021-2025) | Digital Watch Observatory, 01.08.2025
- EASA (2022). *European Aviation Safety Plan 2023–2025*. European Union Avi- ation Safety Agency. European Plan for Aviation Safety (EPAS) 2023- 2025 | EASA, 30.07.2025
- ECAT (2025). *European Centre for Algorithmic Transparency*. European Com- mission. European Centre for Algorithmic Transparency - European Commission, 28.07.2025
- EDPB (2022). European Data Protection Board. *Guidelines 05/2022 on the use of facial recognition technology in the area of law enforcement*. Guidelines

- 05/2022 on the use of facial recognition technology in the area of law enforcement | European Data Protection Board, 18.07.2025
- European Commission (2019). High-Level Expert Group on AI. *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*. ai-ethics-guidelines.pdf, 24.07.2025
- European Commission. (2021). *Proposal for a Regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*. Proposal for a Regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence | Shaping Europe's digital future, 25.07.2025
- FAA (2023). *Roadmap for Artificial Intelligence Safety Assurance, Version I*. Federal Aviation Administration. [Add the document's title here] , 25.07.2025
- FATE (2025). ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. Association for Computing Machinery, Athens, Greece, June 23-26, 2025
- Hobbs, K. L., & Li, B. (2023). Safety, Trust, and Ethics Considerations for Human-AI Teaming in Aerospace Control. *arXiv*. [2311.08943] Safety, Trust, and Ethics Considerations for Human-AI Teaming in Aerospace Control, 26.08.2025
- KPMG (2021). *Dijitalleşme Yolunda Türkiye 2021*. dijitalleşme-yolunda-turkiye-raporu-v9.pdf, 23.07.2025
- Lanzi, P., Spiller, E., Jameel, M., Christoffels, L., Gigante, G., Esposito, R., Contissa, G., Sanchi, M., Galli, F., Everdij, M. H. C., & Stroeve, S. H. (2024). *Challenges and new directions for the certification of AI and advanced automation in civil aviation*. Paper presented at SESAR Innovation Days 2024, Rome, Italy.
- LIH (2024). Lufthansa Group Innovation Runway The Top 50 Projects at a Glance, Home - Lufthansa Group Innovation Runway, 25.05.2028
- McAfee, A. & Brynjolfsson, E. (2017). *Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future*. Deutsch. ISBN: 978-0-393-35606-9.
- McKinsey (2020). *The State of AI in 2020*. McKinsey Global Institute, Global survey: The state of AI in 2020 | McKinsey, 30.07.2025
- McKinsey (2024). *The generative AI opportunity in airline maintenance*. Aircraft maintenance companies and gen AI | McKinsey, 26.07.2025
- Nanyonga, A., Wasswa, H., Wild, G. (2025). Aviation safety enhancement via NLP & Deep Learning: Classifying flight phases in ATSB safety reports. *arXiv*. [2501.07923] Aviation Safety Enhancement via NLP & Deep Learning: Classifying Flight Phases in ATSB Safety Reports, 05.08.2025
- Nanyonga, A., Wasswa, H., Turhan, U., Molloy, O. & Wild, G. (2025a). Sequential classification of aviation safety occurrences with natural language processing. *arXiv*, [2501.06490] Sequential Classification of Aviation Safety Occurrences with Natural Language Processing, 06.08.2025



- Nanyonga, A., & Wild, G. (2025). Utilizing AI for aviation post-accident analysis classification. arXiv. [2506.00169] Utilizing AI for Aviation Post-Accident Analysis Classification, 29.07.2025
- New, M. D., & Wallace, R. J. (2025). Classifying aviation safety reports: Using supervised NLP in an applied context. *Safety*, 11(1), 7.
- Ouyang, A. & Jameel A. L. (2024). *Stratospheric safety standards: How aviation could steer regulation of AI in health*. MIT News. Stratospheric safety standards: How aviation could steer regulation of AI in health | MIT News | Massachusetts Institute of Technology, 24.07.2025
- Park, K. & Yoon, H. Y. (2025). AI algorithm transparency, pipelines for trust not prisms. *Humanities & Social Sciences Communications*. *Humanit Soc Sci Commun* 12, 1160.
- Polaris Aero (2025). Polaris Aero adds AI to Vocus safety platform. AINonline. Polaris Aero Adds AI to Vocus To Enhance Safety Reports and Reduce Effort | Aviation International News, 04.08.2025
- Red Hat (2025). *Turkish Airlines Pioneers AI-led Innovation for Aviation with Red Hat OpenShift AI*. Turkish Airlines Pioneers AI-led Innovation for Aviation with Red Hat OpenShift AI, 05.08.2025
- Tech Policy (2025). *AI Accountability Starts with Government Transparency*. AI Accountability Starts with Government Transparency | TechPolicy.Press, 03.08.2025.
- The Guardian (2024). UK needs system for recording AI misuse and malfunctions, , thinktank says. UK needs system for recording AI misuse and malfunctions, thinktank says | Artificial intelligence (AI) | The Guardian, 06.08.2025
- ThinkTech (2020). *Sivil Havacılıkta Büyük Veri Teknolojisi ve Uygulamaları*. STM Teknolojik Düşünce Merkezi, Research Report January 2020, 1608904343\_stm-sivil-havacilikta-buyuk-veri.pdf, 23.09.2025
- TÜBİTAK (2021). *Yapay Zekâ Enstitüsü: Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2021-2025*. Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (UYZS) 2021-2025, 23.09.2025
- TÜBİTAK (2025). *Artificial Intelligence Ecosystem Call*. 1711 - Artificial Intelligence Ecosystem Call | TÜBİTAK | Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 23.09.2025
- UAB (2023). *Siber Güvenlik Strateji Belgesi*. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, ulusal-siber-guvenlik-stratejisi-ep-2020-2023.pdf, 23.09.2025
- Yesilbaş, E., & Oktay, T. (2024). *Management of aviation safety at the state level: Current status of Turkish civil aviation*. 11th International Conference on Applied Sciences, Rize, Turkey, December 2024, (PDF) MANAGEMENT OF AVIATION SAFETY AT THE STATE LEVEL: CURRENT STATUS OF TURKISH CIVIL AVIATION, 23.09.2025



## Yapay Zekâ Destekli Kişiselleştirilmiş Kabin Deneyimi: Dijital Çağda Yolcu Deneyiminin Yeniden Tasarımı 6

Elvan Karaarslan Göyenc<sup>1</sup>

### Özet

Bu bölüm, yapay zekânın (YZ) müşteri deneyimi yönetimindeki dönüştürücü etkisini havayolu sektörünün merkezinde yer alan kabin deneyimi üzerinden incelemektedir. YZ, yalnızca operasyonel süreçleri otomatikleştiren bir araç değil, aynı zamanda yolcu deneyimini bilişsel, duygusal ve sosyal düzeylerde yeniden biçimlendiren stratejik bir bileşen hâline gelmiştir. Çalışma, insan merkezli yapay zekâ (Human-Centric AI) yaklaşımını benimseyerek teknolojik etkinlik ile insani duyarlılık arasındaki dengeyi tartışmakta; kabin ortamında insan–YZ sembiyozunun hizmet kalitesi, güven ve etik değerler üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Collins Aerospace'ın *Galley.ai* ve Airbus'ın *Connected Cabin* uygulama örnekleri üzerinden, veri temelli, kişiselleştirilmiş ve şeffaf deneyim ekosistemlerinin yükselişi analiz edilmiştir. Değerlendirmeler geleceğin kabin deneyiminin verimlilik, empati ve etik bütünlüğü birleştiren hibrit bir paradigma çerçevesinde şekilleneceğini göstermektedir.

### Giriş

Dijitalleşme, havayolu sektöründe müşteri deneyiminin doğasını köklü biçimde değiştirmiştir (Pillai & Devrakhyani, 2020). Uzun yıllar boyunca hizmet kalitesi, konfor düzeyi ve zamanında kalkış gibi ölçütlerle değerlendirilen yolcu deneyimi, bugün çok daha bütüncül bir anlam kazanmıştır. Gelişen teknolojiler, özellikle YZ, bu dönüşümün merkezine yerleşerek yalnızca operasyonel süreçleri değil, yolcunun havayolu ile kurduğu duygusal bağı da yeniden şekillendirmektedir. Artık yolcu deneyimi, teknik bir hizmet sunumundan öte, veriyle beslenen ve duyguyla yönlendirilen (Rjsé vd., 2023; Tariq vd., 2024) bir etkileşim süreci olarak görülmektedir.

1 Dr., elvankaraarslan@hotmail.com ORCID: 0000-0001-8546-6878

Geleneksel havayolu hizmetlerinde yolcu çoğunlukla pasif bir konumdayken, dijital çağda aktif bir katılımcıya dönüşmüştür. Yolcu artık yalnızca hizmet alan değil, aynı zamanda veri üreten, geri bildirim sağlayan ve deneyimin tasarımına doğrudan katkıda bulunan bir paydaştır (Grissmann & Stokburger-Sauer, 2012). Bu katılımcı yapı, yolcu memnuniyetinin ötesine geçerek “*deneyimsel tatmin*” kavramını ön plana çıkarmıştır. Deneyim, sadece ihtiyaçların karşılandığı bir süreç değil, aynı zamanda havayolu ile duygusal bağ kurulan, kimlikel bir alan haline gelmiştir (Rjsé vd., 2023; Tariq vd., 2024).

Havayolu sektörü, bu dönüşümün en karmaşık ama aynı zamanda en etkileyici biçimde yaşandığı alandır. Uçuş deneyimi; emniyet, güvenlik, konfor, iletişim, zaman yönetimi, acil durum yönetimi gibi birbirinden farklı ama eş zamanlı yürütülmesi gereken bileşenleri içerir (Karaarslan, 2014). Bu çok katmanlı yapı, havayolları için benzersiz bir deneyim laboratuvarı sunar. Özellikle kabin ortamı, havayolu kimliğinin somutlaştığı, kültürel değerlerin görünür hâle geldiği, yolcunun duygusal algısının şekillendiği ve hizmetin “*insani yüzünün*” en belirgin biçimde hissedildiği alandır.

YZ, bu çok boyutlu yapıyı izleyebilir, ölçülebilir ve yönetilebilir hale getiren en güçlü araçlardan biridir. Gerçek zamanlı veri analitiği, doğal dil işleme, duygu tanıma ve öngörü algoritmaları sayesinde her yolcu için kişiye özel bir deneyim haritası oluşturmak mümkün hale gelmiştir. Bu sistemler, geçmiş tercihlerden anlık duygu durumlarına kadar geniş bir veri yelpazesini analiz ederek kişiselleştirilmiş hizmet sunumunu destekler (Rjsé vd., 2023; Tariq vd., 2024). Böylece kabin, yalnızca hizmetin sunulduğu bir alan olmaktan çıkar; dinamik, öğrenen ve yolcunun ihtiyaçlarına duyarlı bir etkileşim ekosistemine dönüşür.

Bununla birlikte, teknolojinin bu kadar yoğun biçimde hizmet süreçlerine entegre edilmesi yeni etik ve duygusal soruları da beraberinde getirmektedir. Dijital sistemler hız ve verimlilik sağlarken, güven, empati ve aidiyet ihtiyacı gibi insani beklentilerinin gölgede kalma riski bulunmaktadır (Rjsé vd., 2023). Bu durum, günümüz hizmet anlayışında “*teknolojik mükemmeliyet*” ile “*insani dokunuş*” arasında bir denge arayışını gündeme getirmektedir. Özellikle “*kabin*” bağlamında bu denge, hizmetin kalitesi kadar havayolu itibarı açısından da belirleyici bir unsurdur.

Bu noktada, insan merkezli YZ (Human-Centric AI – HCAI) yaklaşımı, teknolojinin insan deneyimini destekleyen ve zenginleştiren bir tamamlayıcı unsur olarak konumlanmasını sağlar. HCAI, algoritmik etkinliği empati, etik ve güven ilkeleriyle birleştirerek hizmet süreçlerinin daha adil, şeffaf ve duyarlı biçimde tasarlanmasına olanak tanır. Bu paradigma, teknolojiyi

insanın yerini alan bir sistem olarak değil; onun sezgisel, duygusal ve sosyal kapasitesini güçlendiren bir ortak olarak görür (Rjsé vd., 2023).

Günümüz havayolu sektöründe yaşanan dönüşüm, yalnızca dijital altyapıların gelişimiyle değil, bu altyapıların insani değerlerle bütünleşme biçimiyle tanımlanmaktadır (Rjsé vd., 2023). Kabin, artık yalnızca fiziksel bir mekân olmaktan çıkarak, insan ve teknolojinin uyum içinde etkileştiği, duygusal zekâ ile veri zekâsının kesiştiği yeni bir deneyim alanına dönüşmektedir. Bu doğrultuda, havayolu deneyimi günümüzde bir “taşıma hizmeti” olmanın ötesine geçerek, anlam, güven ve duygusal bağ üzerine inşa edilen bütüncül bir yaşam deneyimi niteliği kazanmaktadır.

### 1. “Memnuniyetten Dijital Deneyime”: Havacılıkta Yolcu Deneyiminin Dönüşümü

Müşteri deneyimi, uzun yıllar boyunca işletmeler tarafından yalnızca “memnuniyet” düzeyiyle ölçülen bir olgo iken, günümüzde dijitalleşme ve YZ destekli kişiselleştirme sayesinde çok daha stratejik ve bütünsel bir boyut kazanmıştır. İlk dönemlerde hizmet kalitesi ve hız gibi ölçütler ön plandayken (Ganiyu vd., 2012; Parasuraman, Zeithaml & Berry, 1988) 1990’larla birlikte müşteri ilişkileri yönetimi ve sadakat programları önem kazanmıştır (Ganiyu vd., 2012). 2000’li yıllarda ise deneyim ekonomisi anlayışıyla birlikte deneyim; duygusal bağ kurma ve farklılaşma aracı olarak stratejik stratejik değere dönüşmüştür. (Grissemann & Stokburger-Sauer, 2012; Prahalad & Ramaswamy, 2004).

Havacılık endüstrisi yalnızca küresel ulaşım ağlarının merkezi değil, aynı zamanda müşteri deneyimi tasarımının da en dinamik alanlarından biridir. Yolcuların temel amacı bir noktadan diğerine emniyetli ve güvenli ulaşmak olsa da, memnuniyet yalnızca bu işlevsel hedefle sınırlı değildir; yolculuğun nasıl deneyimlendiği, algılanan değer ve duygusal tatmin düzeyi açısından çok daha belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu durum, deneyimin yalnızca bir sonuç değil, aynı zamanda *uçtan uca* yönetilmesi gereken dinamik bir süreç olarak ele alınmasını zorunlu kılmıştır.

*Deneyim*, yolcunun bir markayla tüm temas noktalarında yaşadığı bilişsel, duygusal ve davranışsal süreçlerin bütünüdür (Kandil vd., 2024). Günümüz literatüründe bu yaklaşım, *müşteri yolculuğu* kavramı çerçevesinde incelenmektedir. Havacılık bağlamında müşteri yolculuğu; rezervasyon, biletleme, check-in, güvenlik, kabin içi hizmet, bagaj teslimi ve uçuş sonrası destek gibi birbirine bağlı *temas noktaları* boyunca yaşanan deneyimlerin bütünsel bir haritasını sunar. Her temas noktası, yalnızca işlevsel bir süreç olmanın ötesinde, yolcunun genel deneyimini şekillendiren duygusal bir

dokunuş niteliği taşır. Deneyimin kalitesi, bu temas noktalarının ne kadar senkronize, kesintisiz ve duygusal açıdan tatmin edici biçimde yönetildiğine bağlıdır.

Bu çerçevede, *duygusal deneyim yönetimi* kavramı havayollarının stratejik öncelikleri arasına girmiştir. Yolcular artık deneyimlerini yalnızca hizmetin hızı, konforu veya verimliliği üzerinden değil, aynı zamanda markayla kurdukları duygusal bağ üzerinden değerlendirmektedir. Bu nedenle çağdaş yolcu deneyimi stratejileri, duygu temelli tasarım ilkeleri doğrultusunda şekillenmekte; uçuş öncesi iletişimden uçuş sonrası hizmetlere kadar her temas noktası, havayolunun *duygusal bir hikâye anlatıcısı* işlevini üstlenmektedir (Asata vd., 2021; Pillai & Devrakhyani, 2020).

Ayrıca yolcular, işlevsel hizmetlerin ötesinde, kişisel değerleri, sürdürülebilirlik duyarlılıkları ve yaşam tarzlarıyla uyumlu deneyimler aramaktadır (Karaarslan, 2014; Rjsé vd., 2023; Tariq vd., 2024). Bu doğrultuda deneyim tasarımı, kullanıcı dostu süreçlerin ötesine geçerek, havayolunun marka kimliği, etik sorumlulukları ve çevresel farkındalığı ile bütünleşen bir yapıya dönüşmüştür (Rjsé vd., 2023; Tuncer & Çakır, 2025). Örneğin, karbon ayak izinin azaltılması (EASA, 2024) veya sürdürülebilir ikram uygulamaları, modern yolcu deneyiminin hem çevresel hem de duygusal bileşenlerini oluşturmaktadır.

Geleneksel müşteri deneyimi yönetimi, büyük ölçüde süreç ve kalite odaklı bir yaklaşım izlerken, günümüzde dijitalleşme ve YZ, bu anlayışı kökten dönüştürmektedir. Dijitalleşme, yolculuk süreçlerinin ölçülebilir, izlenebilir ve optimize edilebilir hâle gelmesini sağlarken, YZ sistemleri bu verileri analiz ederek deneyimi kesintisiz, dinamik ve kişiselleştirilmiş bir yapıya dönüştürmektedir. YZ destekli sistemler, yolcu davranışlarını gerçek zamanlı olarak izleyip duygusal tepkileri öngörmekte ve hizmetin biçimini, zamanlamasını proaktif biçimde uyarlayabilmektedir (Daqar & Smoudy, 2019; Rjsé vd., 2023). Böylece dijitalleşme ve YZ, yalnızca hizmet süreçlerini optimize etmekle kalmayıp, yolcunun deneyimini bilişsel, duygusal ve davranışsal boyutlarıyla bütünleştiren stratejik bir araç olarak konumlandırmaktadır.

Sonuç olarak, müşteri deneyimi memnuniyet odaklı ölçümlerden anlam, duygusal bağ ve kişiselleştirme merkezli bir yapıya evrilmiştir. Havayolu sektörü, bu dijital dönüşümün hem öncüsü hem de laboratuvarı niteliğindedir; çünkü yolcu deneyimi, yüksek beklenti ile duygusal hassasiyetin kesiştiği karmaşık bir yapıyı temsil etmektedir. Dijitalleşme ve YZ, bu karmaşıklığı ölçülebilir, yönetilebilir ve sürekli geliştirilebilir hâle getirerek havayollarını

yalnızca ulaşım sağlayıcısı değil, yolculuğu bütünsel yöneten dijital deneyim tasarımcısı konumuna taşınmaktadır.

## 2. “Kabin”: Havayolu Deneyiminin Stratejik Temas Noktası

Kabin, havayollarında yolcu deneyiminin en yoğun ve kritik biçimde şekillendiği alandır. Emniyet, güvenlik ve hizmetin eş zamanlı yürütüldüğü kabin; yolcunun havayolu ile kurduğu duygusal bağın güçlendiği, algılanan değer ve sadakatin inşa edildiği stratejik bir temas noktasıdır. Bu nedenle kabin, yalnızca operasyonel bir alan olmanın ötesinde, havayolu kimliğinin somutlaştığı, kültürel değerlerin görünür hâle geldiği ve rekabette farklılaşmanın yaratıldığı çok katmanlı bir deneyim sahasıdır (Karaarslan Göyünç E, 2022; Rjsé vd., 2023; Tariq vd., 2024).

Kabin operasyonu, yolcunun uçağa adım attığı andan uçaktan ayrıldığı ana kadar geçen tüm süreci kapsar. Emniyet prosedürlerinin eksiksiz uygulanması, güvenlik önlemlerinin sağlanması, ikram ve konfor hizmetlerinin yürütülmesi, özel ihtiyaçlara yönelik desteğin verilmesi ve acil durum yönetimi bu sürecin temel bileşenlerindendir. Bu bileşenlerin her biri, hizmet kalitesi algısını doğrudan etkiler ve yolcunun havayoluna yönelik genel değerlendirmesini biçimlendirir (Karaarslan, 2014).

SERVQUAL modeline (Parasuraman, Zeithaml & Berry, 1988) göre memnuniyet, beklenen kalite ile algılanan kalite arasındaki farkla tanımlanır. Kabin deneyiminde bu fark, yalnızca koltuk ergonomisi, ikram kalitesi veya temizlik gibi somut unsurlardan değil; empati, ilgi ve güven gibi soyut boyutlardan da etkilenir (Karaarslan, 2014). Deneyim ekonomisi yaklaşımı bu bağlamda yolcunun duygusal katılımını, deneyim değerinin merkezine yerleştirir (Rjsé vd., 2023). Uçuş sırasında kabin ekibinin bir yolcunun özel talebine gösterdiği incelikli bir ilgi ya da beklenmedik bir durumda sergilediği sakin iletişim, teknik hizmetin ötesinde kalıcı bir marka hafızası yaratabilir. Böylece kabin, yalnızca fiziksel bir alan olmaktan çıkar; havayolu ile yolcu arasında duygusal bağın kurulduğu ve sürdürüldüğü temel deneyim alanı haline gelir.

Dijitalleşme ve YZ uygulamaları, bu duygusal temas alanını dönüştürerek kabin deneyimini hem operasyonel verimlilik hem de yolcu memnuniyeti perspektifinden yeniden tanımlamaktadır. YZ destekli sistemler, kabin ekiplerinin yolcu verilerine (örneğin isim, koltuk numarası, sadakat durumu, özel ihtiyaçlar, özel yemek talepleri, bağlantılı uçuşlar vb.) anında erişimini sağlayarak kişiselleştirilmiş hizmetin altyapısını oluşturur (Erdağ vd., 2024; Tariq vd., 2024). Bu bilgilerin kabin ekibinin gözlemleriyle bütünleşmesi,



yolcuya tanındığı ve değer gördüğü hissini güçlendirir. Böylece, *hiper kişiselleştirilmiş* bir kabin deneyimi ortaya çıkar (Jain vd., 2020).

YZ tabanlı sistemlerin en önemli katkılarından biri, kabin içi operasyonlarda veriye dayalı karar alma kültürünün yerleşmesini sağlamasıdır. Bu sistemler, yalnızca operasyonel süreçleri desteklemekle kalmaz; yolcu davranışları, duygu durumu ve etkileşim örüntüleri hakkında gerçek zamanlı içgörüler sunar. Örneğin, sensör tabanlı sistemler yolcunun oturma pozisyonu, ortam sıcaklığı veya aydınlatma tercihlerini analiz ederek konfor koşullarını otomatik biçimde ayarlayabilir (Pillai & Devrakhyani, 2020). Bu tür uygulamalar, yalnızca fiziksel rahatlığı değil, yolcunun kontrol ve öngörü hissini de artırır (Rjsé vd., 2023). Sonuçta, kabin deneyimi yalnızca konfor odaklı bir hizmet olmaktan çıkıp, özerk etkileşim alanı niteliği kazanır.

Dijital kabin yönetim sistemleri aynı zamanda ekip içi koordinasyonu güçlendirerek hizmet akışını optimize etmektedir. Kabin ekibi, mobil cihazlar üzerinden anlık hizmet planlarını, yolcu ihtiyaçlarını ve özel talepleri takip edebilir; böylece hata olasılığı azalır, süreç sürekliliği artar (Erdağ vd., 2024). Bu bağlamda YZ, kabin ekiplerinin yerini alan değil, onun bilişsel ve duygusal kapasitesini destekleyen bir iş ortağı olarak konumlanmaktadır (Rjsé vd., 2023). Bu yaklaşım, insan-merkezli YZ paradigmasıyla tam uyum içindedir ve kabinde hizmetin kalbinde hâlâ kabin ekiplerinin olduğunu vurgular.

Sonuç olarak, kabin, havayolu deneyiminin en insani, duygusal ve stratejik unsuru olma niteliğini sürdürmektedir. Teknoloji, bu alanı mekanikleştirmek yerine daha duyarlı, hızlı ve kişiselleştirilmiş bir yapıya dönüştürmektedir (Rjsé vd., 2023). Yeni kabin konsepti, yolcuların değer gördüğü mevcut hizmet alanını, tanınma ve etkileşim düzeyinin artırıldığı kişiselleştirilmiş bir deneyim ortamına dönüştürmektedir.

### **3. Yapay Zekâ Destekli Kabin Deneyimi: Veri, Duygu ve Etkileşim Entegrasyonu**

Kabin deneyiminin stratejik önemi dikkate alındığında, YZ uygulamaları bu deneyimi veri, duygu ve etkileşim boyutlarıyla bütünleştirerek köklü bir biçimde dönüştürmektedir. YZ, kabin ortamını yalnızca fiziksel bir alandan çıkarıp, yolcu davranışlarını ve ihtiyaçlarını gerçek zamanlı analiz eden, öngören ve bunlara uyum sağlayan dinamik bir sistem hâline getirmektedir (Wang vd., 2023).

Bu bölümde, YZ'nin kabin deneyimine etkisi; kesintisiz akış, hiper kişiselleştirme, yapay empati, akıllı yönetim ve destek sistemleri, kabin asistanları ve sağlık yönetimi gibi farklı boyutlar üzerinden ele alınmakta;

ayrıca veri, duygu ve etkileşim entegrasyonunun güncel uygulamaları ile geleceğe yönelik gelişim olanakları incelenmektedir.

### 3.1. Kabinde Kesintisiz Deneyim: Yapay Zekâ ile Akış ve Uyum

Müşteri deneyimi, günümüzde yalnızca “*memnuniyet*” odaklı bir hedef olmaktan çıkarak “*anlam*” merkezli bir yapıya dönüşmektedir. Havayolu sektöründe bu dönüşüm, yolculuğun yalnızca bir ulaşım süreci değil; duygusal, bilişsel ve sosyal etkileşimlerin kesiştiği çok katmanlı bir deneyim alanı olarak görülmesini beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda, deneyim bütünlüğü havayolları için temel bir öncelik hâline gelmiştir.

Kesintisiz deneyim, yolcunun çevrimiçi, mobil ve fiziksel temas noktaları arasında kesintisiz bir akışla ilerlemesini sağlayan bütünlüklü bir deneyim yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, çoklu kanal stratejisinden öteye geçerek temas noktaları arasındaki veri akışını ve hizmet senkronizasyonunu merkezine alır (Nguyen & Mogaji, 2023). Böylece yolcu, deneyimi kopuk işlemler dizisi olarak değil, uçtan uca tutarlı bir yolculuk zinciri olarak algılar.

YZ, bu bütünlüğün *dijital omurgasını* oluşturur. Gerçek zamanlı veri analizi, bağlamsal farkındalık ve öngörü algoritmaları aracılığıyla yolculuk sürecinde ortaya çıkabilecek kopuklukları önceden tespit eder; operasyonel süreçleri senkronize ederek hizmet akışını korur (Daqar & Smoudy, 2019). Bu yönüyle YZ, yalnızca bir otomasyon aracı değil, deneyimin akışını yöneten bir *ekosistem düzenleyicisidir* (Pillai & Devrakhiani, 2020).

Kabin, uçuş öncesi dijital deneyimlerle bağlantı kuran, uçuş sırasındaki memnuniyeti yöneten ve uçuş sonrası sadakati besleyen bir *deneyim köprüsü* işlevi görür. Bu nedenle YZ tabanlı kesintisiz deneyim stratejilerinin etkisi, kabin içinde en görünür ve ölçülebilir biçimde ortaya çıkar.

YZ, kabin ekibine yolcuya ait verileri (isim, koltuk numarası, sadakat durumu, özel ihtiyaçlar, yemek tercihleri veya bağlantılı uçuş bilgileri vb.) anında erişilebilir kılar. Bu veriler, uçuş öncesi dijital temaslardan başlayarak kabin içi sistemlere, oradan da uçuş sonrası yolcu hizmetlerine kadar uzanan sürekli bir bilgi akışının parçasıdır. Kabin ekipleri arayüzler üzerinden yolcuya dair gözlem ve bilgi girişleri yapabilir. Bu veriler sistem tarafından işlenir ve bir sonraki uçuşa entegre edilir. Örneğin, bir yolcunun özel yemek talebinin eksik geldiği kaydedildiğinde, bu bilgi sonraki rezervasyonda otomatik olarak dikkate alınır; böylece olumsuz bir deneyim, sonraki uçuшта memnuniyete dönüştürülür. Bu dinamik veri döngüsü, yalnızca operasyonel verimliliği değil, deneyim sürekliliğini de destekler (Tariq vd., 2024). Yolcu, havayolunu “*kendini hatırlayan*” bir yapı olarak algılar; bu da güveni ve duygusal bağlılığı güçlendirir.

Kesintisiz deneyim, yalnızca yolcu etkileşimini değil, operasyonel bilgi akışını da kapsar. YZ destekli kabin arayüzleri ve bağlantılı cihazlar hem yolcu geri bildirimlerinin hem de teknik durum verilerinin anlık paylaşımını mümkün kılar (Pillai & Devrakhyani, 2020). Örneğin, bir yolcu mobil uygulama üzerinden kahvesinin soğuk geldiğini veya ekranının çalışmadığını bildirdiğinde, sistem bu bilgiyi doğrudan kabin ekibine iletir. Kabin ekibi bildirimi anında görüp gerekli müdahaleyi gerçekleştirir; böylece olası bir memnuniyetsizlik hızla çözüme kavuşturulur (Erdağ vd., 2024). Bu tür mikro etkileşimler, yolcuya *anlaşıldığı ve değer görüldüğü* hissini verir.

Aynı sistemler, kabin ekibinin uçak içi teknik arızaları (örneğin Wi-Fi kesintisi veya uçak içi eğlence sistemi arızası) anlık olarak teknik ekiplere iletmesini de sağlar. Teknik birimlerin uzaktan müdahalesiyle uçuş sırasında arızaların giderilmesi, hizmetin kesintiye uğramasını önler ve iniş sonrası bakım sürecini hızlandırır (Kabashkin & Shoshin, 2024).

Sonuç olarak, YZ'nin sunduğu veri entegrasyonu, bağlamsal farkındalık ve öngörü kabiliyeti, yolcu deneyimini parçalı bir yapıdan çıkararak akış, anlam ve duygusal bağlılık ekseninde yeniden biçimlendirir. Kesintisiz deneyim, havayolları için artık yalnızca teknik bir hedef değil; güven, sadakat ve marka bütünlüğü açısından stratejik bir zorunluluktur.

### 3.2. Kabinde Hiper Kişiselleştirme: Kişisel Tanınmadan Bağlamsal Deneyime

Dijital çağın beklentisi artık yalnızca *tutarlılıkla* sınırlı değildir; yolcular, bağlama duyarlı, dinamik biçimde uyarlanabilen ve kendilerine özgü deneyimler talep etmektedir. *Kişiselleştirme*, günümüz havayolu sektöründe yalnızca yolcu memnuniyetini artıran bir unsur değil, aynı zamanda sadakat ve duygusal bağlılık oluşturan temel bir stratejik değer haline gelmiştir. Bu bağlamda, kesintisiz deneyimin en kritik temas noktası olan kabin, deneyimin bireysel düzeyde şekillendiği en etkili alan hâline gelmiştir. Kabin deneyiminde kişiselleştirme, entegre deneyimin bir bileşeni olmaktan çıkarak *hiper kişiselleştirme* düzeyine evrilmiştir. Uçuş süresince fiziksel, dijital ve insani temas noktalarının kesiştiği bu ortam, yolculuğun en yoğun ve çok boyutlu biçimde deneyimlendiği alanı oluşturur. (Barua & Kaiser, 2024; Yuan vd., 2018).

YZ, büyük veri analitiği, öğrenen algoritmalar ve davranışsal öngörü modelleri sayesinde yolcuların özelliklerine, tercihlerine ve kabindeki koşullara göre dinamik hizmetler sunarak “*Bana özel mi?*” sorusuna somut yanıtlar üretmektedir. Bu yaklaşım, geleneksel kişiselleştirmenin sınırlarını aşarak her bir yolcunun geçmiş davranışlarını, konumunu, uçuş amacını, ruh halini ve

hassasiyetlerini analiz eder (Prahalad & Ramaswamy, 2004). Bu analizler doğrultusunda kabin ortamındaki etkileşimler, YZ'nin gerçek zamanlı ve bağlama duyarlı verileri aracılığıyla her yolcunun ihtiyaç ve beklentilerine göre uyarlanır. Örneğin, uyku halindeki bir yolcunun çevresindeki ışık ve ses seviyesi ayarlanabilir; uzun bir uçuşta sıkıldığı gözlemlenen bir yolcuya ise proaktif olarak yeni eğlence seçenekleri sunulabilir. Böylece hiper kişiselleştirme, kabin deneyimini yalnızca işlevsel düzeyde değil, duygusal, bilişsel, davranışsal, bağlamsal ve sosyal boyutlarda derinleştirir (Weidig vd., 2024). Böylece yolcular kendilerini tanınmış, saygı görmüş ve önemsenmiş hisseder. Somut örnekler bu durumu desteklemektedir:

***Kişiselleştirilmiş menüler:*** YZ, yolcunun diyet tercihleri, alerjileri, kültürel alışkanlıklarını veya dini tercihlerini değerlendirerek en uygun yiyecek-içecek alternatiflerini önerir (Pillai & Devrakhyani, 2020).

***Kabin içi eğlence sistemi (In-flight Entertainment - IFE):*** IFE sistemleri, kabinde yolcu ile havayolu arasındaki en uzun süreli dijital etkileşim alanını temsil eder ve kabin deneyiminin bütüncüllüğünü güçlendirir. YZ'nin bu sistemlere entegrasyonu, eğlenceyi statik bir içerik sunumundan çıkararak dinamik, bağlamsal ve kişiselleştirilmiş bir medya deneyimine dönüştürmüştür.

Örneğin Qatar Airways'in OryxOne sistemi, yolcunun yaş, dil, kültür, geçmiş izleme alışkanlıkları ve hatta ruh hâlini analiz ederek ilgi alanlarına uygun içerikler önerir (Radulović, 2024). Böylece sistem, yalnızca “ne izlemek isterim” sorusuna değil, aynı zamanda “şu anda neye ihtiyacım var” sorusuna da yanıt verir (Rjsé vd., 2023).

YZ destekli IFE sistemleri, film ve müzik önerilerinin ötesine geçerek yolcunun destinasyonuna göre yerel saat, kültürel bilgiler ve güncel etkinlikler gibi bağlamsal veriler de sunar (Barua & Kaiser, 2024). Bu yönüyle IFE, yalnızca bir eğlence platformu değil, yolculuk deneyiminin dijital rehberi haline gelir. Bu proaktif yapı, yolcunun bilgi ve duygusal ihtiyaçlarına anında yanıt vererek havayolunun zihinsel erişilebilirliğini güçlendirir ve yoğun rekabet ortamında stratejik bir farklılaşma avantajı sağlar (Tariq vd., 2024).

***Kabin içi konfor:*** Işık, sıcaklık veya koltuk ayarları yolcunun uyku düzenine, ruh haline ya da uçuş süresine göre otomatik olarak optimize edilir. Bu, özellikle özel bakım gerektiren (yaşlı, hasta, engelli vb.) yolcular için daha konforlu bir yolculuk imkânı sunabilir (Pillai & Devrakhyani, 2020).

***Üretkenlik odaklı kabin deneyimi:*** YZ destekli sistemler, iş seyahati yapan yolcuların üretkenlik ve konforunu artırmak amacıyla kişiselleştirilmiş çözümler sunar. Wi-Fi önceliği, sessiz alan ve uygun koltuk önerileri gibi

uygulamalar sayesinde yolcuların uçuş sırasında kesintisiz çalışması sağlanır. Böylece kabin, geleneksel seyahat alanından çıkarak verimli bir mobil çalışma ortamına dönüşür (Wang vd., 2023).

Bu uygulamalar, YZ'nin kabin deneyimini proaktif biçimde kişiselleştirip bağlamsallaştırdığını göstermektedir. Ayrıca, yolcuların deneyim üzerindeki aktif rolünü teşvik ederek “*ortak değer yaratımı (co-creation)*” sürecini güçlendirir (Jain vd., 2020). Yolcuların sistem aracılığıyla sunduğu geri bildirimler, algoritmaların sürekli öğrenmesini sağlar; böylece her uçuş, bir öncekinden daha kişisel ve özel bir deneyime dönüşür.

Singapore Airlines'ın *Next Generation Cabin Service System*'ı bu anlayışın öncü örneklerindendir. Sistem, yolcu profillerini analiz ederek menü, içecek ve eğlence önerilerini kişiselleştirir; böylece her etkileşim havayolu ile kurulmuş duygusal bir bağa dönüşür (Rjsé vd., 2023). Kabin ekibi, YZ'nin sağladığı içgörüler aracılığıyla yolcunun ihtiyaçlarını önceden öngörebilir; bu sayede “*talep edilmeden karşılanan beklenti*” ilkesi doğrultusunda hizmet sunulur.

### **3.3. Kabin Deneyiminde Yapay Empati: NLP ve Duygu Temelli Uygulamalar**

YZ destekli duygu analizi (sentiment analysis), havayollarının hizmet kalitesini ölçme, değerlendirme ve iyileştirme süreçlerinde köklü bir dönüşüm yaratmaktadır. Bu dönüşümün temelinde ise *Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing – NLP)* teknolojileri yer almaktadır.

NLP tabanlı araçlar, yolcu yorumları, uçuş sonrası anketler, çağrı merkezi kayıtları ve sosyal medya paylaşımları hem metinsel hem de duygusal düzeyde analiz ederek, memnuniyet, şikâyet ve beklenti düzeylerini duygu haritaları ve sentiment skorları aracılığıyla ölçer (Badánik vd., 2023; Cai vd., 2025; Pınarbaşı, 2025; Tusar & Islam, 2021; Wu & Gao, 2022). Makine öğrenimi algoritmalarıyla desteklenen bu süreç, verileri pozitif, negatif veya nötr eğilimler biçiminde sınıflandırır ve böylece havayolları, yolcu algılarını ve geri bildirimleri sürekli izleyebilir (Tusar & Islam, 2021; Wu & Gao, 2022). Sonuç olarak, elde edilen veriler yalnızca hizmet kalitesine ilişkin geçmişe dönük bilgiler sağlamakla kalmaz; aynı zamanda yolcu deneyimini gerçek zamanlı olarak değerlendirmeye ve geleceğe yönelik iyileştirmeler için öngörüler üretmeye imkân tanır (Radulović, 2024). Örneğin, belirli bir uçuşta yaşanan olumsuz kabin deneyimleri anında tespit edilerek ilgili yolculara özel telafi teklifleri sunulabilir. Benzer biçimde, sürekli benzer geri bildirimlerin alındığı bir rotada kabin ekibi için özel eğitim alanları belirlenebilir (Radulović, 2024; Tariq vd., 2024). Böylece hizmet süreci,

yalnızca “*tepki veren*” bir yapıdan çıkarak, yolcunun duygusal deneyimini önceden hisseden ve yöneten “*proaktif*” bir yapıya evrilir (EASA, 2020; Rjsé vd., 2023).

Benzer şekilde, NLP destekli *sohbet robotları (chatbots)* yolcu mesajlarındaki duygusal ipuçlarını algılayarak, daha duyarlı ve empatik yanıtlar verebilecek biçimde eğitilmektedir. Bu tür “*yapay empati*”, insan-YZ etkileşimini uyumlu hale getirerek iletişimde insani sıcaklığı korumaya ve yolcuyla duygusal uyumu güçlendirmeye katkı sağlar (Asata vd., 2021).

Kabin bağlamında bu teknolojilerin uygulama alanları oldukça çeşitlidir:

***Uçuş Sonrası Geri Bildirim Analizi:*** Binlerce anket yanıtı ve sosyal medya yorumu saniyeler içinde işlenerek, kabin ekibi performansı, ikram kalitesi, kabin ve tuvalet temizliği ile eğlence sistemleri gibi hizmet boyutlarındaki yolcu duygularını hızlı bir şekilde ortaya çıkarır. Elde edilen veriler, yolcu memnuniyeti ile ilişkilendirilir ve kabinde hangi hizmetlerin deneyimi olumlu veya olumsuz etkilediği belirlenir. Ayrıca bu veriler, kabin hizmetlerinin iyileştirilmesi, farklı yolcu segmentlerine yönelik kişiselleştirilmiş hizmetlerin geliştirilmesi ve kabin ekibi eğitimlerinin optimize edilmesi için kullanılır (Asata vd., 2021; Tariq vd., 2024).

***Anlık Duygu Tespiti ve Proaktif Müdahale:*** Gelecekte, YZ çok modlu bir yaklaşımla ses tonu analizi, yüz ifadesi tanıma ve fizyolojik sensörler gibi farklı kaynakları kullanarak yolcuların duygusal durumlarını belirleyebilecektir. Bu tür anlık duygu tespiti kabin ekibine proaktif müdahale fırsatları sunabilir. Örneğin, stresli veya rahatsız bir yolcu anında algılanarak kabin ekibinin uygun biçimde yanıt vermesi sağlanabilir (Asata vd., 2021; Rjsé vd., 2023). Ancak ticari bir uçuşun kabin ortamında kamera veya sensör gibi sistemlerinin kurulumu, yolcu mahremiyeti açısından önemli zorluklar barındırmaktadır. Bu nedenle etik ilkeler, veri gizliliği ve rıza süreçleri dikkatle yönetilmelidir (Katirai, 2023; Nartey, 2025; Alabsi & Gill, 2021; Mohammad, 2022).

***İletişim ve Empati Eğitimi:*** NLP tabanlı analizler, kabin ekibinin yolcularla iletişim tarzını inceleyerek empatik dil kullanımını güçlendirmede kullanılabilir. YZ destekli eğitimler, kabin ekibinin stres, heyecan veya yorgunluk gibi yolcu duygularını yönetme ve insani etkileşimi artırma becerilerini geliştirebilir (Asata vd., 2021; Jamaluddin & Mokhtar, 2025; Waramontri vd., 2022). Kabin ekiplerinin YZ tabanlı duygu tanıma yazılımlarıyla desteklenmesi, yolcularla etkileşimlerinde duygusal tepkileri daha iyi yönetmelerine ve ihtiyaçlara daha hızlı yanıt vermelerine olanak tanıyabilir (Henkel vd., 2020).



### 3.4. Akıllı Kabin Yönetim ve Destek Sistemleri

Akıllı kabin yönetim ve destek sistemleri, kabin ekibini operasyonel yüklerden kurtararak yolcularla daha anlamlı ve insan odaklı etkileşimler kurmalarını sağlayan stratejik araçlardır. Bu yaklaşım, havayolu sektöründe yolcu memnuniyetini ve sadakati artıran yeni bir hizmet standardı oluşturmaktadır.

YZ ve nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerinin bütünleşmesiyle ortaya çıkan AIoT (Artificial Intelligence of Things) yaklaşımı, kabin içi yönetim ve hizmet süreçlerinde köklü bir dönüşüm başlatmıştır. Bu bütünleşik yapı, kabin ortamını yalnızca bir seyahat alanı olmaktan çıkararak, gerçek zamanlı veri akışı ve öngörü temelli karar mekanizmalarıyla çalışan *akıllı bir sistem* hâline getirmektedir (Kabashkin & Shoshin, 2024).

Bu dönüşümün temelinde, IoT tabanlı sensörler ve akıllı ekipmanlar tarafından toplanan gerçek zamanlı veri akışı yer almaktadır. IoT cihazları; sıcaklık, nem, koltuk doluluk oranı, emniyet kemeri kullanımı, baş üstü dolabı doluluk oranı, yolcu hareketleri ve eğlence sistemi etkileşimleri gibi çok boyutlu bilgileri kaydederek, kabin ekibine anlık durumsal farkındalık sağlar (Dutta vd., 2025; Pillai & Devrakhyanı, 2020; Unzueta vd., 2020).

Toplanan bu kapsamlı veri setleri, YZ algoritmaları tarafından analiz edilerek yolcu davranış kalıpları, tercihleri ve geleceğe dönük ihtiyaç tahminleri ortaya çıkarılır. Böylece YZ, kaynak yönetimi, bakım planlaması ve kişiselleştirilmiş hizmet önerileri gibi alanlarda proaktif ve öngörü temelli bir kabin deneyimi oluşturur (Alfalasi, 2025; Guerrini vd., 2023; Geske vd., 2024). Bu sistemler, insan hatasını minimize ederken, kabin ekibinin odağını teknik işlemlerden yolcu ile etkileşime kaydırır (Rjsé vd., 2023; Waramontri vd., 2022).

Örneğin, *akıllı mutfak sistemleri* (smart galleys) stok seviyelerini sensörler aracılığıyla izler, eksiklik durumunda kabin ekibini uyarır ve aynı zamanda enerji tüketimini optimize eder. Bu hem sürdürülebilirlik hem de operasyonel maliyet yönetimi açısından çift yönlü bir değer yaratır. YZ'nin tahmine dayalı analizleri, olası malzeme eksikliği veya ekipman arızası durumlarını önceden belirleyerek kesintisiz hizmet sunumunu güvence altına alır (Patibandla, 2024; Kabashkin vd., 2025).

Uzun vadede, bu sistemlerin entegrasyonu kabin yönetimini veri temelli bir yapıya dönüştürecektir. *Öngörüye dayalı bakım* (predictive maintenance) uygulamaları, uçak içi donanımların ömrünü uzatırken, operasyonel aksamaları da minimize eder (Kabashkin & Shoshin, 2024). Böylece yolcu,



teknik aksaklıkların gölgesinde değil; istikrarlı, konforlu ve öngörülebilir bir deneyim içinde seyahat eder.

Yolcuların seyahat sürecini kesintisiz, akıcı ve kişiselleştirilmiş bir deneyime dönüştüren YZ destekli *bilgilendirme ve yönlendirme sistemleri* ile *chatbot sistemleri*, kabin ekiplerinin operasyonel iş yükünü hafifleterek dolaylı olarak kabinde de yolcu memnuniyetine destek sağlar (Vijai & Mahasan, 2025). Bu destek, özellikle United Airlines’ın ConnectionSaver uygulaması ve chatbot sistemlerinde açık biçimde gözlemlenmektedir.

United Airlines’ın ConnectionSaver uygulaması (United Airlines, 2025), aktarmalı yolcuların bağlantılı uçuşlarını kaçırmalarını önlemek amacıyla uçuş kalkış saatleri, yolcu konumu ve operasyonel verileri gerçek zamanlı olarak analiz eder. Gerektiğinde uçuşların kısa süreli bekletilmesini sağlayarak operasyonel verimliliği artırır ve yolcuların stres ile belirsizlik düzeylerini azaltır (Malladi vd., Alfalasi, 2025; Geske vd., 2024). Ayrıca, aktarmalı yolculara bağlantılı uçuş kapılarına adım adım yönlendirme ve yakınlardaki olanakların haritasını içeren kişiselleştirilmiş mesajlar göndererek, yolculuk sürecini daha öngörülebilir ve stressiz hale getirir. Bu sayede yolcular, bağlantılı uçuşlarına yetişememe kaygısı yaşamadan seyahat ederken, kabin ekiplerinin bilgi akışı sağlama ve yolcu stresini yönetme yükü de azalmaktadır.

Bu deneyimi tamamlayan bir diğer YZ uygulaması ise “chatbot”lardır (Adam vd., 2020). Chatbotlar, yolcuların uçuşla ilgili sıkça sorulan sorularına—örneğin iniş saati, bağlantılı uçuş bilgileri veya destinasyon detayları gibi—anında ve kişiselleştirilmiş yanıtlar verir. Bu sistemler, yolcuların yönlendirme ve bilgilendirme ihtiyaçlarını büyük ölçüde karşıladığından kabin ekibinin operasyonel yükünü azaltır (Arreza, 2022; Frenette, 2022; Swain vd., 2025)

Bu uygulamalara ek olarak, *Agentic AI (özerk YZ)* sistemleri, yolcunun geçmiş verilerini ve anlık koşulları analiz ederek potansiyel uçuş içi aksaklıkları önceden tespit eder ve kabin ekibine proaktif çözüm önerileri sunar (Rjsé vd., 2023). Örneğin, bir yolcunun daha önce rahatsızlık duyduğu koltuk tipi veya belirli bir yiyecek alerjisi varsa, sistem bu bilgileri gerçek zamanlı olarak kabin ekibine iletir (Erdağ vd., 2024). Böylece kabin ekibi, memnuniyetsizliğe dönüşebilecek deneyimleri önleyici biçimde yönetebilir ve yolcuya kişiselleştirilmiş hizmet sunarak deneyimi iyileştirebilir.

### 3.5. Yapay Zekâ Destekli Kabin Asistanları

YZ destekli dijital asistanlar, kabin ekibinin iş yükünü azaltan, karar alma süreçlerini hızlandıran ve hatasız hizmet sunumunu kolaylaştıran sistemlerdir (Korentsides vd., 2024). Bu araçlar, uçuş sırasında yolcu bilgilerine, özel taleplere ve olası risk senaryolarına anlık erişim sağlayarak

ekip koordinasyonunu artırır (Guerrini vd., 2023). Örneğin, sistem yolcunun geçmişteki alerji kayıtlarını veya tercih ettiği içecekleri hatırlatarak hizmetin sürekliliğini sağlar.

Bu uygulamalar, “*Human-in-the-loop*” ilkesine dayanır: YZ öneriler sunar, ancak nihai karar her zaman insan tarafından verilir (Kirwan, 2025; Zanzotto, 2019). Böylece teknolojik doğruluk ile insani empati arasında bir denge korunur. Bu hibrit yapı, hizmetin sadece hızlı değil, aynı zamanda duygusal olarak da doyurucu olmasını sağlar (Rjsé vd., 2023).

Orta vadede, bu sistemlerin kabin operasyonlarına entegrasyonu ekip içi etkileşimi dönüştürecektir. Gerçek zamanlı bilgi paylaşımı sayesinde görev dağılımı optimize edilir, acil durumlara tepki süresi azalır ve hizmet sürekliliği artar. YZ burada bir “*rakip*” değil, insanın bilişsel uzantısı olarak konumlanmaktadır (Geske vd., 2024; Korentsides vd., 2024).

### 3.6. Yapay Zekâ ile Kabinde Sağlık Yönetimi

YZ ve IoT entegrasyonu kabinde yolcuların ve kabin ekiplerinin sağlık ve güvenliğini önceliklendiren akıllı ve bütünsel bir sisteme dönüştürmektedir (Kabashkin & Shoshin, 2024).

Geleceğin YZ tabanlı sağlık sistemleri, uzun menzilli uçuşlarda biyometrik farkındalık düzeyini artırarak hem konforu hem de güvenliğini yeniden tanımlar. Kalp atış hızı, oksijen seviyesi, nabız değişkenliği veya stres göstergeleri gibi veriler, sensörler aracılığıyla analiz edilerek potansiyel riskler erken tespit edilir (Ji vd., 2022). Böylece, yalnızca fiziksel güvenlik değil, bütünsel iyi oluş (well-being) desteklenir (Wang vd., 2023).

YZ sistemleri, bu verilere dayanarak kabin ortamını dinamik biçimde düzenleyebilir (Patel & D’Cruz, 2017; Wang vd., 2022). Düşük oksijen seviyesinde basınç ayarlaması, yüksek stres düzeyinde ışık yoğunluğunun azaltılması veya sıcaklık optimizasyonu gibi mikro müdahaleler mümkündür (Hu vd., 2024). Bu tür kişiselleştirilmiş ayarlamalar, yolcunun yalnızca fiziksel olarak rahat etmesini değil, psikolojik olarak da huzurlu hissetmesini sağlar (Spence, 2023).

Ancak bu sistemlerin sürdürülebilirliği, etik tasarım ilkesine bağlıdır. Biyometrik verilerin işlenmesi, yalnızca şeffaf veri yönetimi politikalarıyla meşrulaşabilir. Bu nedenle, geleceğin sağlık izleme teknolojilerinde güvenlik kadar mahremiyetin korunması da temel bir tasarım önceliği olmalıdır (Peña vd., 2024).

#### 4. “Yapay Zekâ mı, İnsan mı?”: Dijitalleşen Kabin Deneyiminde Hizmetin İkilemi

Havayolu sektöründe YZ, hız, tutarlılık ve kişiselleştirme olanaklarıyla hizmet süreçlerini köklü biçimde dönüştürmektedir (Radulović, 2024). Ancak bu dönüşüm, empati, güven ve insani duyarlılık gibi temel değerlerin arka plana itilme riskini de beraberinde getirmektedir. YZ’nin sağladığı operasyonel mükemmeliyet, kısa vadede verimlilik avantajı sunsa da, yolcu ile kurulan duygusal bağ hâlâ deneyimin en güçlü belirleyicisi olmaya devam etmektedir.

Bu durum, dijitalleşen kabin hizmetlerinde *verimlilik-insani duyarlılık* ekseninde belirgin bir gerilime işaret eder. Bu gerilim, literatürde *hizmet paradoksları* olarak tanımlanan karşıtlıkları üretir:

**Bağlantılı ama İzole:** Hiper kişiselleştirilmiş deneyimler, yolcuyu tanınmış hissettirirken gizlilik kaygılarını artırabilir.

**Düşük Maliyet ama Yüksek Bedel:** Otomasyon maliyetleri düşürse de, veri güvenliği ve duygusal tatminsizlik gibi dolaylı bedeller ortaya çıkar.

**Yüksek Kalite ama Daha Az Empati:** Teknik doğruluk artarken, insani sıcaklık ve empati eksikliği hizmetin değerini zayıflatır (Frenette, 2022; Rjsé vd., 2023).

Özellikle kabin, insan ile teknoloji arasındaki bu ikilemin en belirgin biçimde hissedildiği alandır. Kabin deneyimi yalnızca kuralların, prosedürlerin uygulanmasından ibaret değil; aynı zamanda duygusal etkileşimlerin yönetimidir. YZ, kabin ekiplerinin operasyonel yükünü azaltarak karar süreçlerini hızlandırır; ancak duygusal etkileşim kapasitesini bütünüyle ikame edebilecek düzeye henüz ulaşmamıştır. Bir yolcunun “*tanındığımı*” hissetmesi için YZ yeterli olabilir, ancak “*anlaşıldığımı*” hissetmesi hâlâ kabin ekiplerinin sezgisel ve empatik varlığına bağlıdır. Bu nedenle kabin, teknolojik verimlilik ile insani temasın en hassas biçimde dengelenmesi gereken deneyim alanı olarak öne çıkmaktadır.

Hizmet süreçlerinde güvenin sürdürülmesi, teknolojinin işleyişinin anlaşılır olması, verilerin şeffaf kullanımı ve karar süreçlerinin açıklanabilirliği ile doğrudan ilişkilidir (Rjsé vd., 2023). Bu ilkeler, sistemin “*kara kutu*” niteliğini azaltarak *insan-teknoloji* etkileşimini öngörülebilir ve güven temelli hâle getirir (EASA, 2024).

YZ’nin giderek daha “*insansı*” hale getirilmesi, “*tekinsiz vadi*” (uncanny valley)” etkisiyle yeni bir risk alanı yaratır. İnsan davranışlarını aşırı gerçekçi biçimde taklit eden sistemler, kullanıcıda rahatsızlık hissi oluşturabilir (Liu

Thompkins vd., 2022). Bu nedenle YZ, insanı taklit eden bir aktör değil; insanın sezgi, empati ve sosyal farkındalığını güçlendiren bir *ortak zihin* (co-intelligence) olarak konumlandırılmalıdır (Rjsé vd., 2023).

## 5. Kabinde Hizmet Paradokslarına Etik Bir Yanıt: İnsan Merkezli Yapay Zekâ

Dijitalleşen kabin deneyiminde temel mesele, teknolojik kapasite ile insani duyarlılığın nasıl dengeleneceğidir. Bu denge arayışı, havayolu hizmetlerinde *İnsan Merkezli Yapay Zekâ* (*Human-Centric AI – HCAI*) yaklaşımının stratejik önemini artırmıştır. HCAI, insanın yalnızca teknik yetkinlikleri değil, aynı zamanda değerlerini, etik ilkelerini ve ihtiyaçlarını merkeze alan bir paradigma olarak tanımlanır. Bu anlayış, YZ sistemlerinin *insanla birlikte ve insan için* tasarlanmasını savunur; teknolojiyi karar verici bir otorite olmaktan çıkararak, insanın kapasitesini destekleyen, yetkinliklerini geliştiren bir *iş ortağı* konumuna taşır (EASA, 2024; Frenette, 2022; Rjsé vd., 2023). Bu yaklaşım, insan–YZ takım çalışması (*Human–AI Teaming*) kavramı ile uyumludur: İnsan ve YZ'nin birbirlerinin güçlü yönlerini tamamlayacak biçimde etkileşimli, uyarlanabilir ve öğrenmeye açık bir biçimde çalışması anlamına gelir (Korentsides vd., 2024; Schmager vd., 2025).

HCAI'nin en temel ilkeleri şunlardır: Şeffaflık, açıklanabilirlik, güvenilirlik, hesap verebilirlik ve adalet (Gunasekara vd., 2025). Bu ilkeler, YZ'nin karar alma süreçlerinin anlaşılır ve etik sınırlar içinde yürütülmesini sağlayarak kullanıcı güvenini artırır (EASA, 2020). Şeffaflık, kabin ekibi ve yolcu arasındaki güveni pekiştirirken, açıklanabilirlik sistemin etik çerçevede işlediğine dair güvence sunar. Böylece insan kontrolü korunur ve hizmet etiğinin sürdürülebilirliği sağlanır.

HCAI yalnızca teknolojik bir yenilik değil, aynı zamanda hizmet etiğinin yeniden tanımlanmasıdır; *verimlilik–empati*, *hız–güven* ve *kişiselleştirme–gizlilik* gibi paradokslar bu çerçevede yönetilebilir hale gelir.

Sonuç olarak HCAI, kabin deneyiminde teknolojik mükemmeliyet ile insani dokunuşu bir araya getiren yeni bir paradigma sunmaktadır. Bu anlayış, YZ'nin *soğuk verimliliğini* insani duyarlılıkla dengeleyen etik bir çerçeve önerir. Geleceğin kabin deneyimi, teknolojinin insanla birlikte anlam kazandığı bir *dijital-insani denge* mimarisi üzerinde yükselecektir.

## 6. Kabin Deneyiminin Geleceği: Hibrit Ekosistemler

Dijitalleşme, kabini yalnızca fiziksel bir hizmet alanı olmaktan çıkararak, gerçek zamanlı veri akışıyla yönlendirilen ve yolcu davranışlarına uyum sağlayan akıllı bir deneyim alanına dönüştürmüştür. Bu dönüşüm hem yolcu

memnuniyetini hem de operasyonel verimliliği artırmakta; aynı zamanda insan-merkezli bir teknoloji anlayışının temelini oluşturmaktadır.

YZ tabanlı kabin sistemleri artık yalnızca yardımcı araçlar değil; öngören, öğrenen ve uyarlanabilir mekanizmalar hâline gelmiştir. Bu sistemler, kabin ekibinin sezgisel kararlarını veri temelli içgörülerle desteklerken, yolculara da kişiselleştirilmiş ve öngörülebilir bir hizmet deneyimi sunmaktadır. Kabin teknolojilerinin geleceği, insan zekâsı ile YZ'nin birlikte çalıştığı hibrit bir hizmet ekosistemi üzerine inşa edilmektedir. Hibrit kabinler üç temel ilke çerçevesinde biçimlenmektedir:

**Tahmine Dayalı Kişiselleştirme:** Yolcuların davranışsal eğilimlerini ve ihtiyaçlarını uçuş öncesinde öngören, anlık uyarlamalara olanak tanıyan dinamik hizmet yapıları (Alfalasi, 2025; Guerrini vd., 2023).

**Empati Odaklı Teknoloji:** İnsan duygularını algılayabilen, uygun tepkiler verebilen ve sosyal etkileşimi destekleyen sistemlerin yaygınlaşması (Liu–Thompkins vd., 2022).

**Etik ve Şeffaf Veri Ekosistemi:** Gizlilik ilkesine riayet eden ve açıklanabilir algoritmalarla güven temelli bir dijital kabin kültürü oluşturulması (Wang vd., 2023).

Bu çerçevede, hibrit kabin yaklaşımının yenilikçi uygulamaları, aşağıda örneklenen Collins Aerospace'ın Galley.ai ve Airbus Connected Cabin sistemleri üzerinden ele alınmaktadır.

### 6.1. Galley.ai: Akıllı Servis Yönetimi

Collins Aerospace tarafından geliştirilen Galley.ai, kabin ekiplerinin uçuş sırasında karşılaştığı operasyonel zorlukları azaltmak ve yolcu deneyimini iyileştirmek amacıyla tasarlanmış YZ destekli bir sistemdir. Sistem, uçak mutfağında (galley) yer alan çoklu sensörlerden toplanan verileri analiz ederek envanter yönetimi, emniyet uyarıları (dökülme, ekipman arızası vb.), ekipman durumu ve servis akışı gibi süreçleri optimize eder. Aynı zamanda kabin ekiplerinin rutin işlem ve davranış kalıplarını öğrenerek operasyonel iyileştirme önerileri sunar.

Galley.ai, kabin ekibinin çalışma ortamını dönüştürerek operasyonel verimlilik ile hizmet kalitesi arasında denge kurulmasına olanak tanır. Bu sistem sayesinde ekiplerin fiziksel ve bilişsel yükü azalır; dikkatlerini yolcu etkileşimi, emniyet ve kriz yönetimi gibi öncelikli alanlara yönlendirmeleri kolaylaşır. Öğrenen algoritmalar uçuş boyunca elde edilen verileri değerlendirerek sonraki operasyonlara yönelik öngörüler üretir. Bu özellik,

yalnızca anlık performansı değil, sürekli öğrenen kabin sistemleri vizyonunu da destekler.

Bununla birlikte Galley.ai, yalnızca operasyonel süreçleri optimize etmekle kalmaz; yolculara gerçek zamanlı bilgi sunarak kişiselleştirilmiş ve öngörülebilir bir hizmet deneyimi oluşturur. Sistem, kabin ekibinin arayüzü üzerinden yürüttüğü operasyonel verileri uçak içi eğlence sistemi veya mobil uygulama aracılığıyla yolculara yansıtır. Bu sayede yolcular, yemek servisinin başlangıç zamanı, menü seçenekleri ve hizmet akışı gibi bilgilere erişebilir. Şeffaf bilgilendirme, özellikle uzun menzilli uçuşlarda belirsizlik kaynaklı stresin azalmasına ve memnuniyetin artmasına katkı sağlar (Collins Aerospace, 2025). Galley.ai, böylelikle teknolojinin yalnızca “arka planda” değil, doğrudan yolcu iletişimde şeffaflık ve güven unsuru olarak da değerlendirilebileceğini göstermektedir.

## 6.2. Airbus Connected Cabin: Entegre Dijital Deneyim

Airbus’ın Connected Cabin (veya Connected Experience) konsepti, kabin içi sistemleri dijital olarak birbirine bağlayan nesnelerin interneti (IoT) tabanlı bir platform olarak geliştirilmiştir. Sistem; koltuklar, mutfaklar, baş üstü dolapları, servis arabaları ve diğer kabin bileşenleri arasında gerçek zamanlı veri alışverişi sağlayarak uçak içi süreçleri birbirine entegre eder. Airbus’ın Airspace markası altında konumlanan bu yaklaşım, kabin yönetiminin dijitalleşmesini derinleştirirken, yolcu emniyetini ve memnuniyetini artırmayı hedeflemektedir.

İlk uçuş testleri, A350-900 Flight Lab uçağında gerçekleştirilmiştir. Testlerde sensör tabanlı bağlı koltuk (iSeat), bağlı mutfak sistemleri (Connected Galley) ve akıllı başüstü dolapları (Smart Bins) gibi bileşenler kullanılmıştır. Bu yapı, hem yeni uçaklarda “linefit” olarak hem de mevcut uçaklarda “retrofit” biçiminde uygulanabilecek esnek bir sistemdir. Böylece Airbus, dijitalleşmeyi yalnızca yeni nesil uçaklarla sınırlamayıp mevcut filoya da uyarlanabilir bir dönüşüm modeli haline getirmiştir.

Yolcu tercihleri doğrultusunda şekillenen kişiselleştirilmiş hizmetler, konfor ve memnuniyeti artırırken; bağlantılı bileşenlerden elde edilen veriler, olası arızaların önceden tespit edilmesini ve kesintisiz hizmet akışını mümkün kılar. Skywise veri platformu aracılığıyla sağlanan operasyonel içgörüler hem karar alma süreçlerini hızlandırır hem de hizmet kalitesini istikrarlı hale getirir. Mobil destekli görev yönetimi, kabin ekibinin verimliliğini artırarak insan etkileşimine daha fazla zaman ayırmasını sağlar (Wuggetze, 2019).

Sonuç olarak, Airbus Connected Cabin konsepti, dijital teknolojilerin potansiyelini insan merkezli bir hizmet anlayışıyla bütünleştirerek uçuş

deneyimini kişiselleştiren, güvenilir ve sürdürülebilir bir hibrit kabin vizyonu sunmaktadır.

## 7. Sonuç

Bu bölüm, YZ'nin müşteri deneyimi yönetiminde yarattığı yapısal dönüşümü, havayolu sektörünün en yoğun temas alanı olan kabin deneyimi üzerinden değerlendirmiştir. Bulgular, çağdaş hizmet tasarımı anlayışının yalnızca teknolojik yenilikle değil, aynı zamanda insan-merkezli bir etkileşim kültürü ile sürdürülebilir hale geleceğini ortaya koymaktadır. YZ'nin havayolu operasyonlarındaki rolü artık yalnızca otomasyon ya da verimlilik aracı olmanın ötesindedir; veriye dayalı öngörü üretimi, kişiselleştirilmiş hizmet sunumu ve duygusal etkileşimi yeniden tanımlayan bütünsel bir deneyim mimarisi olarak konumlanmaktadır.

Kabin bağlamında dijitalleşme, fiziksel hizmet alanını “*bağlantılı*” (connected) ve “*öğrenen*” (adaptive) bir ekosisteme dönüştürmüştür. Collins Aerospace’ın *Galley.ai* sistemi ve Airbus’ın *Connected Cabin* konsepti gibi yenilikçi uygulamalar, operasyonel süreçleri gerçek zamanlı veriyle yönlendirirken; şeffaflık, öngörülebilirlik ve kişiselleştirme ilkelerini merkeze alan yeni bir kullanıcı deneyimi üretmektedir. Bu sistemler, kabini fiziksel bir alan olmaktan çıkararak bilgi, duygu ve teknolojinin etkileşim içinde olduğu akıllı bir deneyim ortamı hâline getirmektedir. Böylece yolcu, teknolojinin pasif alıcısı değil, deneyimin aktif bir bileşeni konumuna yükselmektedir.

Ancak bu dönüşüm, yalnızca teknik ya da operasyonel bir yenilik değildir; etik, duygusal ve kültürel boyutlarıyla insan-teknoloji etkileşiminin yeniden tanımlanması anlamına gelmektedir. Bu noktada HCAI yaklaşımı, teknolojik etkinliğin insani değerlerle dengelenmesi açısından kritik bir çerçeve sunmaktadır. HCAI, şeffaflık, açıklanabilirlik, güvenilirlik, hesap verebilirlik ve adalet ilkeleriyle algoritmik yönetişimin insana duyarlı biçimde inşa edilmesini savunur. Kabin deneyimi bağlamında bu yaklaşım, YZ’yi kabin ekibinin yerine geçen bir sistem değil; duygusal zekâ, sezgi ve empatiyi tamamlayan bir *ortak zihin* olarak konumlandırmaktadır.

Geleceğin kabin ekosistemi, insan ile YZ arasındaki simbiyotik iş birliği üzerine inşa edilecektir. Bu ortaklık, verimlilik ve empatiyi birbirine karşıt değil, tamamlayıcı iki temel boyut olarak yeniden tanımlar. İnsan, etik karar alma, duygusal bağ kurma ve sosyal etkileşimde merkezî rolünü sürdürürken; YZ, veri analitiği, tahmine dayalı kişiselleştirme ve dinamik optimizasyon kapasitesiyle bu süreci destekler. Böylece, hız ve insani derinliği aynı düzlemde birleştiren hibrit bir deneyim paradigması ortaya çıkar.



Çağdaş havacılık hizmetlerinin geleceği, yalnızca dijitalleşme hızına değil; bu dönüşümün etik, duygusal ve kültürel derinliğine de bağlıdır. Empati odaklı YZ modelleri, duygusal zekâ temelli algoritmalar ve açıklanabilir veri ekosistemleri, yolcu deneyimini niceliksel tatminden niteliksel anlam üretimine dönüştürmektedir. Bu bağlamda hizmetin değeri, artık “*ne kadar hızlı*” verildiğiyle değil, “*ne kadar anlamlı, adil ve güvenilir bir baş kurduğu*” ile ölçülmektedir.

Sonuç olarak, kabin deneyimi gelecekte veriyle düşünen, duyguyla hisseden ve etikle yönlenen bir yapıya evrilecektir. Bu dönüşüm, insanın teknolojiyi değil, teknolojinin insanı güçlendirdiği yeni bir etkileşim kültürünü temsil eder. Havacılıkta YZ, gökyüzünü yalnızca daha akıllı değil, aynı zamanda daha insancıl ve duyarlı bir alan hâline getirme potansiyeline sahiptir. Geleceğin uçuşu, algoritmaların değil; insan sezgisinin, empatisinin ve etik bilincinin rehberliğinde anlam kazanan bir *dijital insanlık deneyimi* olacaktır.

## Kaynakça

- Adam, M., Wessel, M., & Benlian, A. (2020). AI-based chatbots in customer service and their effects on user compliance. *Electronic Markets*, 31(2), 427. <https://doi.org/10.1007/s12525-020-00414-7>
- Alabsi, M. I., & Gill, A. Q. (2021). A Review of Passenger Digital Information Privacy Concerns in Smart Airports [Review of *A Review of Passenger Digital Information Privacy Concerns in Smart Airports*]. *IEEE Access*, 9, 33769. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3061425>
- Alfalasi, M. (2025). Emirates' AI Innovation Challenge: Enhancing Customer Experience through Personalized In-Flight Services. *European Journal of Business and Strategic Management*, 10(3), 31. <https://doi.org/10.47604/cjbsm.3323>
- Arreza, M. K. B. (2022). The quality of service and user satisfaction of airline chatbots. *Journal of Business on Hospitality and Tourism*, 8(1), 197. <https://doi.org/10.22334/jbhost.v8i1.346>
- Asata, M. N., Nyangoma, D., & Okolo, C. H. (2021). The Role of Storytelling and Emotional Intelligence in Enhancing Passenger Experience. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 2(5), 517. <https://doi.org/10.54660/ijmrge.2021.2.5.517-531>
- Badánik, B., Remenysegova, R., & Kazda, A. (2023). Sentimental Approach to Airline Service Quality Evaluation. *Aerospace*, 10(10), 883. <https://doi.org/10.3390/aerospace10100883>
- Barua, B., & Kaiser, M. S. (2024). *Leveraging Machine Learning for Real-Time Personalization and Recommendation in Airline Industry*. <https://doi.org/10.20944/preprints202410.2436.v1>
- Cai, H., Tao, D., Zhou, P., Li, D., & Li, H. (2025). Leveraging Text Mining Techniques for Civil Aviation Service Improvement: Research on Key Topics and Association Rules of Passenger Complaints. *Systems*, 13(5), 325. <https://doi.org/10.3390/systems13050325>
- Collins Aerospace. (2025). *An AI-powered solution to transform aircraft cabin service* [Web page]. Aircraft by Collins. <https://aircraftbycollins.com/galley-artificial-intelligence-streamline-cabin-crew-service>
- Daqar, M. A., & Smoudy, A. K. A. (2019). THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON ENHANCING CUSTOMER EXPERIENCE. *International Review of Management and Marketing*, 9(4), 22. <https://doi.org/10.32479/irmm.8166>
- Dutta, P. K., Ricciuti, M., Bogrekci, I., & Suseelan, S. (Eds.). (2025). *Airline Customer Experience: Digitalization in Passenger Services*. Taylor & Francis.
- EASA (2020). *Artificial Intelligence Roadmap 1.0*.

- EASA (2024). *EASA Artificial Intelligence Concept Paper Issue 2: Guidance for Level 1 & 2 machine-learning applications*. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-concept-paper-issue-2>
- Erdağ, T., Erdoğan, U., & Pınar, R. İ. (2024). *DIGITAL TRANSFORMATION IN CABIN CREW DEPARTMENT: A COMPARATIVE QUALITATIVE RESEARCH IN FSC AND LCC AIRLINES*. <https://doi.org/10.18226/21789061.v16i3p638>
- Frenette, J. (2022). The Human-Centric Approach to AI in the Travel Industry. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 16(3), 1250. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.16.3.1387>
- Ganiyu, R. A., Uche, I. I., & Elizabeth, A. O. (2012). Is Customer Satisfaction an Indicator of Customer Loyalty? *Australian Journal of Business and Management Research*, 2(7), 14. <https://doi.org/10.52283/nswrca.ajbmr.20120207a02>
- 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>
- Grissemann, U. S., & Stokburger-Sauer, N. (2012). Customer co-creation of travel services: The role of company support and customer satisfaction with the co-creation performance. *Tourism Management*, 33(6), 1483. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2012.02.002>
- Guerrini, A., Ferri, G., Rocchi, S., Cirelli, M., Martínez, V. P., & Grieszmann, A. (2023). Personalization @ scale in airlines: combining the power of rich customer data, experiential learning, and revenue management. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 22(2), 171. <https://doi.org/10.1057/s41272-022-00404-8>
- Gunasekara, L., El-Haber, N., Nagpal, S., Moraliyage, H., Issadeen, Z., Manic, M., & Silva, D. D. (2025). A Systematic Review of Responsible Artificial Intelligence Principles and Practice [Review of *A Systematic Review of Responsible Artificial Intelligence Principles and Practice*]. *Applied System Innovation*, 8(4), 97. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/asi8040097>
- Henkel, A. P., Bromuri, S., İren, D., & Urovi, V. (2020). Half human, half machine – augmenting service employees with AI for interpersonal emotion regulation. *Journal of Service Management*, 31(2), 247. <https://doi.org/10.1108/josm-05-2019-0160>
- Hu, D., Xue, H., Qiu, C., & Wang, J. S. (2024). Real-time prediction model of passenger thermal comfort for intelligent cabin. *International Journal of Thermal Sciences*, 207, 109370. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2024.109370>

- Jain, G., Paul, J., & Shrivastava, A. (2020). Hyper-personalization, co-creation, digital clienteling and transformation. *Journal of Business Research*, 124, 12. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.11.034>
- Jamaluddin, N. S., & Mokhtar, M. (2025). Teaching Empathy: How AI Can Support the Development of Soft Skills in Education. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 15(3). <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v15-i3/24469>
- Kabashkin, I., & Shoshin, L. (2024). Artificial Intelligence of Things as New Paradigm in Aviation Health Monitoring Systems. *Future Internet*, 16(8), 276. <https://doi.org/10.3390/fi16080276>
- Kandil, O., Dessart, L., Standaert, W., & Bosma, M. (2024). A Framework to Improve the Digital Customer Experience in Complex Services. *Services Marketing Quarterly*, 45(1), 25. <https://doi.org/10.1080/15332969.2023.2294235>
- Karaarslan, E. (2014). *Havayolu yolcu taşımacılığında hizmet kalitesinin geliştirilmesi üzerine bir araştırma: Kabin hizmetlerinin müşteri tercihlerine etkisi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi].
- Karaarslan Göyenċ, E. (2022). *Ekip kaynak yönetiminin kabin ekiplerinin kurum imajı algısına etkisinde uçuş emniyet kültürü ve duygusal emeğin rolü* [Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi].
- Katirai, A. (2023). Ethical considerations in emotion recognition technologies: a review of the literature [Review of *Ethical considerations in emotion recognition technologies: a review of the literature*]. *AI and Ethics*, 4(4), 927. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00307-3>
- Kirwan, B. (2025). Human Factors Requirements for Human-AI Teaming in Aviation. *Future Transportation*, 5(2), 42. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5020042>
- Korentsides, J., Keebler, J. R., Fausett, C. M., Patel, S. M., & Lazzara, E. H. (2024). Human-AI Teams in Aviation: Considerations from Human Factors and Team Science. *The Journal of Aviation/Aerospace Education and Research*, 33(4). <https://doi.org/10.58940/2329-258x.2046>
- Liu-Thompkins, Y., Okazaki, S., & Li, H. (2022). Artificial empathy in marketing interactions: Bridging the human-AI gap in affective and social customer experience. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 50(6), 1198. <https://doi.org/10.1007/s11747-022-00892-5>
- Malladi, T., Murugappan, K., Sudarsanam, D., Suriyanarayanan, R., & Vasan, A. (2021). To hold or not to hold? - Reducing Passenger Missed Connections in Airlines using Reinforcement Learning. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 862. <https://dblp.uni-trier.de/db/conf/atal/aamas2021.html#MalladiMSSV21>

- Mohammad, S. M. (2022). Ethics Sheet for Automatic Emotion Recognition and Sentiment Analysis. *Computational Linguistics*, 48(2), 239. [https://doi.org/10.1162/coli\\_a\\_00433](https://doi.org/10.1162/coli_a_00433)
- Nartey, J. (2025). *The Ethics of Emotion Recognition Technology: Implications for Privacy and Consent*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5200140>
- Nguyen, N. P., & Mogaji, E. (2023). Artificial Intelligence for Seamless Experience Across Channels. In *Springer eBooks* (p. 181). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-33898-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-33898-4_8)
- Patel, H., & D'Cruz, M. (2017). Passenger-centric factors influencing the experience of aircraft comfort. *Transport Reviews*, 38(2), 252. <https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1307877>
- Patibandla, K. R. (2024). Predictive Maintenance in Aviation using Artificial Intelligence. *Deleted Journal*, 4(1), 325. <https://doi.org/10.60087/jaigs.v4i1.214>
- Peña, A. D., Pérez-Montoro, M., & Guinto, M. (2024). Balancing Security and Privacy: A Study on Biometric Authentication Implementation in Airports and Airlines. *International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology*, 410. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-22659>
- Pillai, R. G., & Devrakhyani, P. (2020). A Data Driven Approach for Customer Relationship Management for Airlines with Internet of Things & Artificial Intelligence. In *IFIP advances in information and communication technology* (p. 657). Springer Science+Business Media. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64849-7\\_58](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64849-7_58)
- Pınarbaşı, F. (2025). Deciphering the Airline Customers Emotions Landscape: A Sentiment Analysis on Online Reviews. *Erzurum Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22, 73. <https://doi.org/10.29157/etusbed.1560132>
- Prahalad, C. K., & Ramaswamy, V. (2004). Co-creation experiences: The next practice in value creation. *Journal of Interactive Marketing*, 18(3), 5. <https://doi.org/10.1002/dir.20015>
- Radulović, L. (2024). *Revolutionizing Air Travel: Advancing Towards a Sustainable Future*. 88. <https://doi.org/10.15308/sinteza-2024-88-95>
- Schmager, S., Pappas, I. O., & Vassilakopoulou, P. (2025). Understanding Human-Centred AI: a review of its defining elements and a research agenda [Review of *Understanding Human-Centred AI: a review of its defining elements and a research agenda*]. *Behaviour and Information Technology*, 1. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/0144929x.2024.2448719>
- Spence, C. (2023). Sensehacking passenger wellbeing while in the air. *Frontiers in Future Transportation*, 4. <https://doi.org/10.3389/ffutr.2023.1261045>

- Swain, V. D., Zhong, Q., Parekh, J. R., Jeon, Y.-M., Zimmermann, R., Czerwinski, M., Suh, J., Mishra, V., Saha, K., & Hernandez, J. (2025). *AI on My Shoulder: Supporting Emotional Labor in Front-Office Roles with an LLM-based Empathetic Coworker*. 1. <https://doi.org/10.1145/3706598.3713705>
- Tariq, M. B., Afendi, N. A., & May, O. S. (2024). *Rising to New Heights: Altering Airline Brands Over AI-Powered Personalization*. *Orient Research Journal of Social Sciences*, 9(2), 01-15.
- Tuncer, B., & Çakır, M. (2025). *Pazarlama 5.0: İnsan ve Teknolojinin Stratejik İş birliği*. <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub775>
- Tusar, Md. T. H. K., & Islam, Md. T. (2021). *A Comparative Study of Sentiment Analysis Using NLP and Different Machine Learning Techniques on US Airline Twitter Data*. 1. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2110.00859>
- United Airlines. (2025, June 25). *United mobile app now gives people more information about their connecting flight*. United Airlines Media Room. Retrieved from <https://united.mediaroom.com/2025-06-25-United-Mobile-App-Now-Gives-People-More-Information-About-Their-Connecting-Flight>
- Unzueta, L., García, S., García, J., Corbin, V., Aranjuelo, N., Elordi, U., Otagui, O., & Danielli, M. (2020). *Building a Camera-based Smart Sensing System for Digitalized On-demand Aircraft Cabin Readiness Verification*. 98. <https://doi.org/10.5220/0010128500980105>
- Vijai, C., & Mahesan, S. S. (2025). The Role of Mobile Applications in Streamlining Passenger Services and Engagement. In *Routledge eBooks* (p. 50). Informa. <https://doi.org/10.4324/9781003625100-4>
- Wang, X., Guo, W., Zhi, D., & Yang, C. (2022). Research on the Cabin Evaluation Index System for Future Passenger Flight Experience. In *Communications in computer and information science* (p. 317). Springer Science+Business Media. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06394-7\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06394-7_41)
- Waramontri, R., Kungwola, K., & Guzikova, L. (2022). Emotional Intelligence in Air Transport: Case study of Flight Attendants in Thailand. *Transportation Research Procedia*, 63, 2496. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.286>
- Weidig, J., Weippert, M., & Kuehn, C. (2024). Personalized touchpoints and customer experience: A conceptual synthesis. *Journal of Business Research*, 177, 114641. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114641>
- Wu, S., & Gao, Y. (2022). *Happy or grumpy? A Machine Learning Approach to Analyze the Sentiment of Airline Passengers' Tweets*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2209.14363>
- Wuggetze, I. (2019, 21 Şubat). *AIRBUS CONNECTED CABIN EXPERIENCE* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=53WuvCQvelQ>

Zanzotto, F. M. (2019). Zanzotto, F. M. (2019). Human-in-the-loop artificial intelligence. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 64, 243-252.



# Yapay Zekâ Tabanlı Emniyet ve Uyumluluk İzleme Yönetimi: Bir Uygulama Değerlendirmesi

Tevfik Uyar<sup>1</sup>

## Özet

Havacılık sektöründe emniyet yönetimi (SMS) ve kalite yönetimi (QMS) süreçlerinin dijital dönüşümü, veri temelli karar desteği sağlayan akıllı sistemlerin önemini artırmıştır. Bu çalışmada, Türkiye’de geliştirilen emniyet ve uyumluluk yönetimi aracı olan SAFEJETS MS adlı programın YZ destekli modülleri incelenmektedir. Bu kapsamda SAFEJETS MS yazılımının, denetim, kök neden analizi, risk yönetimi ve değişiklik yönetimi modüllerini yapay zekâ ile bütünleştirerek yöneticilere ve denetçilere bir karar destek altyapısı sunmaktadır. Sistem dört temel YZ modülünden oluşmaktadır: (1) denetçilere düzeltici/önleyici faaliyet (DÖF) öneri motoru, (2) Balık Kılçığı modeliyle kök neden analizi yapan destek aracı, (3) Bowtie risk analizi modülü ve (4) Değişiklik yönetimi süreçlerinde potansiyel riskleri belirleyen değişiklik analizi modülü. Çalışma, bu modüllerin operasyonel verimlilik, insan hatasının azaltılması ve emniyet kültürünün güçlendirilmesi üzerindeki etkilerini nitel bir yaklaşımla değerlendirmektedir. SAFEJETS MS örneğinin, EASA ve ICAO’nun yapay zekâya ilişkin açıklanabilirlik ve insan-merkezlilik ilkeleriyle uyumlu bir yönetim modeli sunarak, havacılıkta dijital dönüşümün örneklerinden biri haline gelmiştir.

## 1. Giriş

Havacılık sektörü, emniyeti en önemli önceliği olarak gördüğünden tarihsel olarak teknolojik yeniliklerin her daim öncüsü olmuştur. Bilhassa insan faktörüne olan bağımlılığı azaltmak için havacılık her daim çok hassas ve karmaşık otomasyon sistemlerinin geliştirilmesine sahne olmuştur. Otomasyon çağıının yapay zekâ çağına evrildiği günümüzde, bu yaklaşım, yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin benimsenmesiyle yeni bir boyut kazanmıştır.

1 Dr., Entropol Arge, [tevfik@entropol.com](mailto:tevfik@entropol.com), 0000-0003-0124-6910

Uçakların, bakım sistemlerinin, hava trafik kontrolünün ve emniyet yönetim sistemlerinin ürettiği devasa miktarda verinin anlamlandırılması artık insan kapasitesini aşmaktadır ve bu nedenle, YZ temelli analiz ve karar destek sistemleri havacılığın neredeyse her alanında etkin rol oynamaya başlamıştır (Demir vd., 2024). Makine öğrenmesi, derin öğrenme ve doğal dil işleme gibi YZ yöntemleri; **öngörücü bakım**, **anomali tespiti**, **uçuş emniyeti izleme**, **otomatik denetim** ve **kalite kontrol**, **pilot destek sistemleri** ve **hava trafik yönetimi** gibi uygulamalarda kullanılmaktadır (Pilon, 2024). Örneğin, büyük hava yolu şirketleri motor ve sistem sensörlerinden elde edilen verileri analiz ederek arıza olasılıklarını önceden tahmin etmekte, böylece hem uçuş emniyetini artırmakta hem de operasyonel maliyetleri azaltmaktadır (Pilon, 2024). Benzer şekilde, doğal dil işleme algoritmaları uçuş ekibi raporlarını analiz ederek potansiyel risk eğilimlerini ortaya çıkarabilmekte; bilgisayarlı görü sistemleri ise bakım sırasında gövde üzerindeki hasarları insan gözünden çok daha hassas biçimde tespit edebilmektedir (Ricketts vd., 2023; Tikayat Ray vd., 2023). YZ'nin havacılıktaki kullanımı yalnızca teknik alanlarla sınırlı değildir; **emniyet yönetim sistemleri (SMS)** ve **kalite yönetimi** süreçlerinde de YZ temelli reaktif ve proaktif karar destek mekanizmalarına yönelik çalışmalar yaygınlaşmaktadır (Nanyonga vd., 2025; Siddeshwar vd., 2024). Bu çalışmada uygulama örneği olarak bu dönüşümün Türkiye'deki öncü örneklerinden biri olan SAFEJETS MS yazılım sistemi ele alınmış, dahilinde YZ destekli olan dört modüle ait örnekler sunulmuştur. Sistem, uçak bakım ve operasyon süreçlerinde kullanılan klasik kalite ve emniyet yönetimi modüllerini yapay zekâ destekli karar destek araçlarıyla zenginleştirerek, yöneticilere ve denetçilere bir karar altyapısı sunmaktadır.

## 2. Havacılıkta ve Havacılık Yönetiminde Yapay Zekâ

Havacılıkta yapay zekâ uygulamaları genellikle üç ana amaca hizmet etmektedir: operasyonel verimliliği artırmak, insan hatasını azaltmak ve karar süreçlerini desteklemek. Ancak yönetim boyutunda en kritik katkı, YZ'nin karmaşık süreçleri analiz edebilme, düzenleyici gereksinimlerle uyumlu şekilde veri temelli öneriler sunabilme kabiliyetidir. Bu yönüyle YZ, havacılık yönetiminde yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda emniyet kültürünü güçlendiren bir destek mekanizmasıdır.

YZ, Uçuş operasyonlarında rota optimizasyonu, bakım alanında arıza tahmini ve insan faktörleri analizleri gibi alanlarda etkin biçimde kullanılmaktadır. Öngörücü bakım en eski ve etkin kullanım örneklerinden birisidir (Merlo, 2024) ve mevcut sağlamlık göstergelerinden yola çıkılarak gelecekteki olası arızalar pek çok yöntemle başarılı bir şekilde tespit edilebilmektedir (Fu & Avdelidis, 2023). Kullanılan teknikler, havayolu

şirketleri ya da ana üreticiler tarafından uygulamalara dönüştürülmüştür. Örneğin Lufthansa Technik'in geliştirdiği ve kendi bakım faaliyetlerinde kullandığı AVIATAR adlı sistem YZ temelli öngörücü bakım konusunda hedeflenen başarıyı göstermiştir (Lang, 2023). Airbus'un geliştirdiği SkyWise binlerce uçaktan gelen sensör verisini kullanarak operatörlere bakım ve operasyon konusunda öngörüler sunmaktadır (Bernard & Hoffmann, 2023). Boeing AHM veya Collins Aerospace Ascentia gibi uygulamalar da üreticiler tarafından geliştirilmiş öngörücü bakım uygulamalarına verilebilecek örneklerdendir (Hawley, 2025).

Hava operasyonlarındaki en önemli gider kalemlerinden olan yakıt tüketimi de YZ temelli optimizasyonun ana hedeflerinden biridir. Aynı zamanda önemli bir karbon emisyonu kaynağı olduğundan havacılık sektöründeki yakıt tüketimini düşürmeye yönelik uygulamalar son derece popülerdir (Nimmala, 2023). Storkjet adlı şirket geliştirdikleri yapay zekâ temelli sistemlerle havayolu şirketleri için rota ve yakıt optimizasyonu yapmaktadır ve Wizzair (Waldhorn, 2024) ve Flair (Flair Airlines, 2025) gibi şirketler bu yazılımlar vasıtasıyla yakıt sarfiyatlarını azaltmışlardır. Sadece havayolu sektöründe değil, iş jeti sektöründe de YZ ile optimizasyon çabaları mevcuttur. En büyük iş jeti işleticilerinden biri olan NetJets şirketiyle yapılan pilot bir uygulamada %9 ila %14 yakıt tasarrufu sağlanmıştır (Mgbachi, 2024).

Hava trafik kontrolü ya da hava durumu tahmininde YZ rolü her geçen gün artmaktadır ve 2027 yılında olasılıksal tehlike analiziyle dünya genelinde hava durumu tahmininde büyük bir sıçrama beklenmektedir (Hawley, 2025).

Otoriteler de YZ'nin havacılık sektöründeki önemi ve gelişimini yakından takip etmekte ve uygun kullanım için regüle etmektedir. EASA, ilki 2020, ikincisi 2023'te olmak üzere bir yapay zekâ yol haritası hazırlamıştır (EASA, 2023). FAA, 2024 yılında üniversite öğrencileri arasında \$100.000 ödüllü "FAA Data Challenge" yarışma düzenlemiş ve havacılık verisinin YZ ile nasıl anlamlandırılacağına yönelik projeler sunulmasını istemiştir ve seçilen 3 projeye yoluna devam etmektedir (2024 FAA Safety Data Challenge Winner Announcement, 2024).

### 3. SAFEJET MS Yönetim Sistemi

Bu çalışmada ele alınan SAFEJETS MS, Türkiye menşei YZ temelli havacılık çözümü sunan bir ticari uygulamadır. SAFEJETS MS, uçuş işletme ruhsatı (AOC) sahipleri ve bakım organizasyonlarının emniyet, kalite ve değişiklik yönetimi süreçlerini bütünleştiren web tabanlı bir yazılım çözümüdür. Entropol Arge Limited Şirketi (İstanbul, Türkiye) tarafından

2022 yılında geliştirilmiş ve piyasaya sunulmuştur (safejets.net, 2022). İlk olarak SAFEJETS QMS adıyla piyasaya sürülen yazılım, 2024 yılında hem altyapı hem de görünüm bakımından yenilenmiş ve SAFEJETS MS ismiyle yeniden markalanmıştır (safejets.net, 2024).

SAFEJETS MS'in temel amacı, havacılık sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin emniyet ve uyumluluk süreçlerini tek bir platformda yönetilebilir ve denetlenebilir hale getirmektir. Sistem, hem Türkiye ulusal mevzuatı hem de uluslararası regülasyonlarla uyumlu bir şekilde çalışmak üzere tasarlanmış olup, kullanıcıların denetim, kalite ve emniyet yönetimi gibi kritik operasyonları takip etmelerini ve raporlamalarını sağlamaktadır. SHGM ve EASA gibi otoritelerin gereklilikleri doğrultusunda şekillendirilen modüller, havacılık sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin yasal uyumluluğunu sağlamasına ve emniyet seviyesini artırmasına yardımcı olmaktadır (ENTROPOL, 2025).

SAFEJETS MS içerisindeki ana modüller; Uyumluluk İzleme (CM), Emniyet (SM), Acil Durum Eylemi (ER), Yorgunluk Risk Yönetim Sistemi (FRMS), Kontrollü Dokümanlar ve Toplantı Modülleridir. Uyumluluk İzleme Modülü, denetim bulgularının ve uygunsuzlukların takibini kolaylaştırırken, Emniyet Modülü ise operasyonel risklerin ve olay raporlarının analizini sağlar. Acil Durum Eylemi Modülü, olası acil durumlarda eşzamanlı ve organize bir müdahale planı oluşturulmasına yardımcı olurken, FRMS modülü ise uçuş personelinin yorgunluk seviyelerini izleyerek emniyeti artırmayı hedefler. Kontrollü Dokümanlar ve Toplantı Modülleri ise dokümantasyon ve iletişim süreçlerinin düzenli ve şeffaf biçimde yürütülmesini amaçlar.

Yapay zekâ desteği içeren işlevler ise DÖF önerisi, Kök Neden Analizi, Emniyet Risk Analizi ve Değişiklik Yönetimi başlıkları olarak sıralanmıştır (ENTROPOL, 2025). Bu modüller, geleneksel yönetim sistemlerinden farklı olarak kullanıcıların karar alma süreçlerinde YZ desteği sunar. Düzeltici ve Önleyici Faaliyet (DÖF) öneri sistemi, denetim bulgularına otomatik olarak en uygun çözüm yollarını sunar ve böylece hem zaman tasarrufu sağlar hem de insan hatasını minimize eder. Kök Neden Analizi modülü, olayların ve uygunsuzlukların temel nedenlerini belirlemek için algoritmalar kullanır; böylece tekrar eden hataların önüne geçilir. Emniyet Risk Analizi, olası riskleri proaktif biçimde tespit eder ve kullanıcıları uyarır. Değişiklik Yönetimi modülü ise operasyonel ve teknik değişikliklerin etkilerini önceden analiz ederek, riskleri azaltmaya yönelik önerilerde bulunur.

Ticari bir yazılım olan SAFEJETS MS, yapay zekâ modelini paylaşmamaktadır ama çalışma prensibi havacılığa özelleşmiş birden fazla geniş dil modelinin, programın içerisindeki anonimleştirilmiş veriyle

bağlam yapılarak yuvarlak masa mantığıyla işletilmesidir. Bu yaklaşım, farklı algoritmaların ve veri kaynaklarının bir araya getirilerek en doğru ve güvenilir kararların alınmasını hedefler. Kullanıcılar, sisteme girdikleri veriler doğrultusunda, yapay zekâ tarafından oluşturulan öneriler ve analizlerle operasyonel süreçlerini daha etkin biçimde yönetebilirler.

Yapay zekâ bileşenleri bu süreçlerin her birinde kullanıcılara öneriler, otomatik analizler ve risk uyarıları sunarak operasyonel karar süreçlerini kolaylaştırır. Özellikle karmaşık ve çok sayıda verinin yönetilmesi gereken havacılık sektöründe, SAFEJETS MS'in sunduğu otomasyon ve karar desteği hem emniyet standartlarının yükseltilmesine hem de operasyonel verimliliğin artırılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Sistem, kullanıcı dostu arayüzü ve modüler yapısı sayesinde farklı büyüklükteki işletmeler için ölçeklenebilir çözümler sunmaktadır. Böylece havacılık sektöründe faaliyet gösteren firmalar, teknolojinin sağladığı imkânlardan en üst düzeyde faydalanarak, rekabet güçlerini ve kurumsal emniyet kültürlerini geliştirme fırsatı bulurlar.

#### 4. SAFEJETS MS İçerisindeki YZ Temelli Karar Destek Sistemlerinin Çıktıları

SAFEJETS MS sisteminde YZ içeren dört modül bulunmaktadır:

- (1) denetçilere düzeltici/önleyici faaliyet (DÖF) öneri motoru,
- (2) Balık Kılçığı modeliyle kök neden analizi yapan destek aracı,
- (3) Bowtie risk analizi modülü ve
- (4) MOC süreçlerinde potansiyel riskleri belirleyen değişiklik analizi modülü.

Aşağıda bu modüllerin örnek çıktılarına yer verilmiştir.

##### 4.1 DÖF Öneri Modülü

Düzeltilici ve Önleyici Faaliyet (DÖF/CAPA) kavramı, kökenini 1960–80’lerde üretim sanayisindeki kalite güvence uygulamalarından alır; bu dönemde, ürün ve süreçlerdeki hataların tespiti ve tekrarının önlenmesi amacıyla sistematik bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir. Özellikle Japonya ve ABD’deki otomotiv ve elektronik sektörlerinde kalite yönetimi uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, DÖF süreçleri de kalite sistemlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Garvin, 1988). 1990’larda ise bu kavram, özellikle medikal cihaz üreticilerinin kalite uygulamaları kapsamında ABD Gıda ve İlaç Dairesi’nin (FDA) “Quality System

Regulation” çerçevesinde “Corrective and Preventive Action – CAPA” adıyla biçimlenip yaygınlaşmıştır.

2000–2008 döneminde, ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi standardında “düzeltici” ve “önleyici” faaliyetler 8.5.2 ve 8.5.3 maddelerinde ayrı başlıklar altında detaylandırılmıştır. Bu dönemde standart, işletmelerin tespit edilen uygunsuzluklara müdahale etmek için düzeltici faaliyetler yürütmesini ve potansiyel uygunsuzlukları önceden tespit ederek önleyici faaliyetler geliştirmesini zorunlu kılmıştır. Ancak, 2015 yılında yapılan ISO 9001 revizyonu ile birlikte, “önleyici faaliyet” kavramı risk-temelli yaklaşım kapsamında tüm ISO yönetmeliklerinden çıkarılmış ve risk temelli düşünme yaklaşımı standardın tamamına entegre edilmiştir. Bu değişiklikle birlikte, önleyici faaliyetlerin ayrı bir başlık altında ele alınmasından vazgeçilmiş, bunun yerine risklerin belirlenmesi ve yönetilmesi temel bir gereklilik haline gelmiştir (John & Cianfrani, 2016).

Havacılık sektöründe ise DÖF kavramı hem düzeltici hem de önleyici faaliyetleri kapsayacak şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Havacılıkta, uçuş emniyetinin sağlanması ve operasyonel risklerin azaltılması amacıyla, tespit edilen her türlü uygunsuzluğun sadece düzeltilmesiyle yetinilmemekte, aynı zamanda benzer uygunsuzlukların tekrarının önlenmesi için önleyici tedbirler de alınmaktadır. Türkiye’de Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü’nün (SHGM) uyumluluk izlemeye ilişkin talimatı olan SHT-UYUMLULUK İZLEME’de de önleyici işleme açıkça yer verilmektedir (SHGM, 2018). Bu talimat, havacılık işletmelerinin denetim bulgularına ilişkin hem düzeltici hem de önleyici faaliyetler planlamasını ve uygulamasını zorunlu kılarak, sektörün emniyet kültürünü güçlendirmeyi hedeflemektedir.

Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) ise, örneğin Part-CAMO AMC 1 CAMO.A.150 Bulgular maddesinde veya Part 21 eklerinde halen “preventive action” ifadesine yer vermeye devam etmektedir. EASA’nın bu yaklaşımı, havacılıkta proaktif risk yönetiminin ve sürekli iyileştirmenin vazgeçilmez unsuru olarak önleyici faaliyetlerin önemini vurgular. Bu nedenle, havacılık sektöründe DÖF uygulamaları, ulusal ve uluslararası regülasyonlara uyumun sağlanması, emniyet seviyesinin artırılması ve organizasyonların kurumsal hafızasının güçlendirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Faaliyete nasıl isim verilirse verilsin, bir uygunsuzluğun giderilmesi için onun tekrarının da önüne geçilmesi gerekir. Bu nedenle bir denetleme bulgusunun kapatılması sürecinde “önleyici”, dolayısıyla risk azaltıcı “muhafaza işlemleri” gerçekleştirilmesi gerekir.

SAFEJETS MS içerisindeki *DÖF Beklenen Kanıtlar Öneri Desteği*, denetim sırasında tespit edilen bulgular için denetçiye bir bulgunun kapatılması için

olası uygun düzeltici ve önleyici faaliyet yelpazesi sunar. Denetçi (ler)den beklenen, yazmış oldukları bulguya ya da yapmış oldukları tespiti göre önerilen düzeltici ve önleyici faaliyet önerilerinden seçim, eleme veyahut da geliştirme yapmalarıdır.

Şekil 1’de SAFEJETS MS’teki DÖF öneri sisteminin kullanımına ilişkin ekran görüntüsü yer almaktadır. Denetçi(ler) burada süreci seçmekte, bulgu açıklamasını yazmakta ve buna yönelik olarak YZ’den DÖF tavsiyesi almaktadır.

**Edit the Finding** [X]

**Field**  
Flight Operations [v]

**Finding Reference \***  
AMC1 CAMO.A.315(c) [X] [v]

**Finding Explanation \***  
One AD is not applied although applicable to TC-XXX. Relevant CAMO personnel stated that AD is applicable because a modification was made to A/C in the past, but the mod number was overlooked while reading the AD applicability.

**Expected Evidences** [Expected Evidence] [CP Action]

1. Conduct a comprehensive review of all Airworthiness Directives (ADs) to ensure all applicable ADs are identified and applied to relevant Technical Configurations (TCs).
2. Implement a standardized checklist for CAMO personnel to verify AD applicability during modification assessments.
3. Provide training sessions for CAMO personnel on the importance of AD compliance and the process for verifying applicability.
4. Establish a regular audit schedule to review AD compliance and ensure ongoing adherence to regulatory requirements.
5. Create a centralized database to track modifications and

**Finding Level**  
Level 1 (Major) [v]

**Due Date**  
30.09.2025 [v]

☐ Notify CPA Request addresses about this edit.

**Update**

Şekil 1. DÖF Beklenen Kanıtlar Öneri Desteği



Tablo 1’de birbirinden farklı süreçlerde tespit edilmiş bir takım uygunsuzluk örnekleri ve SAFEJETS MS’in önerdiği DÖF Beklenen Kanıt Önerileri yer almaktadır. Bu öneriler “Beklenen Kanıtlar” başlığı altında Düzeltici Önleyici Faaliyet (DÖF) formu içerisinde DÖF isteğinde bulunulan kişiye de iletilmiş olur.

*Tablo 1. DÖF Beklenen Kanıt Önerileri*

| Bulgu                                                                                      | Tavsiye Edilen DÖF Talebi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ramp denetiminde acil çıkış kapısının sabitlenmemiş eşyalarla engellendiği görüldü.</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ramp denetimi sırasında acil çıkışları engelleyen tüm sabitlenmemiş eşyaların derhal kaldırılmasını sağlayın.</li> <li>2. Uçak kalkışından önce tüm acil çıkışların kullanılabilir olduğunun doğrulanmasını içeren standart bir ramp kontrol listesi oluşturun.</li> <li>3. Yer personeline, acil çıkışların açık tutulmasının önemi ve uygunsuzluk durumunda oluşabilecek riskler konusunda eğitim verin.</li> <li>4. Acil çıkış yönetmeliğine uyumun sürekliliğini izlemek amacıyla düzenli denetim planı oluşturun.</li> <li>5. Yer personelinin acil çıkış yakınında tespit ettiği engelleri hızla raporlayabileceği bir bildirim sistemi geliştirin.</li> </ol>                              |
| <b>EFB yazılımı güncellendi, ancak mürettebatın %20’si hâlâ eski sürümü kullanıyor.</b>    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tüm mürettebata yönelik zorunlu bir eğitim düzenleyerek, EFB yazılımının güncel tutulmasının önemi ve eski sürüm kullanımının operasyonel riskleri anlatılmalıdır.</li> <li>2. Her mürettebatın cihazındaki sürüm durumunu takip eden bir izleme sistemi kurulmalıdır.</li> <li>3. Güncelleme için net bir son tarih belirlenmeli, ardından uyum kontrolü yapılmalıdır.</li> <li>4. Yazılım güncellemeleri hakkında düzenli hatırlatma ve bilgilendirme planı oluşturulmalıdır.</li> <li>5. Güncelleme yapmayan mürettebat için, tamamlayana kadar uçuş görevinden geçici uzaklaştırma gibi bir yaptırım içeren acil durum planı hazırlanmalıdır.</li> </ol>                                      |
| <b>Uygulanması gereken AD (Airworthiness Directive) TC-XXX için uygulanmamış.</b>          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tüm Uçuşa Elverişlilik Direktiflerinin (AD) kapsamlı biçimde gözden geçirilerek ilgili teknik konfigürasyonlara (TC) eksiksiz uygulanması sağlanmalıdır.</li> <li>2. CAMO personelinin modifikasyon değerlendirmelerinde AD uygulanabilirliğini doğrulaması için standart bir kontrol listesi hazırlanmalıdır.</li> <li>3. CAMO personeline, AD uyumunun önemi ve uygulanabilirlik doğrulama süreci hakkında eğitim verilmelidir.</li> <li>4. AD uyumunun düzenli olarak gözden geçirilmesi amacıyla periyodik iç denetim (audit) planı oluşturulmalıdır.</li> <li>5. Modifikasyonlar ve ilişkili AD’lerin kolay erişimle izlenebilmesi için merkezi bir veri tabanı oluşturulmalıdır.</li> </ol> |

## 4.2 Kök Neden Analizi – Balık Kılçığı Modeli

Kök neden analizi, bir sorunun yüzeydeki belirtilerinin ötesine geçerek, altında yatan asıl sebepleri ortaya çıkarmak için kullanılan neden-sonuç ilişkisini tespit etmeye dayanan sistematik bir yaklaşımdır. Özellikle havacılık ve bakım operasyonlarında, belirlenen uygunsuzlukların veya hataların sadece sonuçlarını düzeltmek yerine, tekrarlanmalarını önleyecek şekilde kök nedenlerine odaklanmanın, operasyonel emniyet ve kaliteyi artıracığı muhakkaktır. Bu nedenle kök neden analizleri, sorunların geçici çözümlerle değil, kalıcı olarak ortadan kaldırılması için kritik bir rol oynar.

Kök neden analizinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri Balık Kılçığı modeli (Ishikawa diyagramı) olup, karmaşık problemlerin ana nedenlerini kategorize ederek görsel olarak ortaya koyar. Balık Kılçığı modeli; insan faktörleri, yöntemler, ekipman, malzeme, çevre, yönetim ve iletişim gibi başlıklar altında olası nedenleri sistematik şekilde incelemeye olanak tanır (Bilsel & Lin, 2012). Dolayısıyla havacılık sektöründe de kök neden analizinin titizlikle uygulanması, uçuş emniyetinin sağlanmasında ve regülasyonlara uyumda temel bir gereklilik olarak öne çıkar.

SAFEJETS MS’te DÖF talep edilen kullanıcıya denetleme bilgileri, bulgu içeriği ve isteğe bağlı olarak da 4.1’de bahsedilen beklenen kanıtlar / düzeltici önleyici faaliyet önerileri sunulur. Ancak bunlar sadece birer öneridir. DÖF talep edilen kullanıcının ilgili bulguya ilişkin kök neden veya kök nedenleri bularak, bu kök nedenleri ortadan kaldıran bir DÖF planı sunması istenir. Bu noktada SAFEJETS MS’in Balık Kılçığı modeli destekli kök neden analizi aracı kullanılabilmektedir.

SAFEJETS MS Balık Kılçığı Modeli aşağıdaki kategorilerde öneride bulunmaktadır:

- i) İnsan Faktörleri / Personel,
- ii) Yöntemler, Prosedürler, Süreçler,
- iii) Makine / Ekipman / Araçlar / Uçak Sistemleri,
- iv) Malzeme / Sarf Malzemeleri / Parçalar
- v) Çevre
- vi) Yönetim / Misyon / Politika
- vii) İletişim
- viii) Eğitim

CPA AI Analysis

×

**Category: Man / Personnel / Human Factors**

- ☒ Inattention to detail by CAMO personnel
- ☐ Overlooked modification number due to human error
- ☐ Lack of awareness regarding the importance of AD applicability

**Category: Methods / Procedures / Processes**

- ☒ Ineffective procedures for tracking modifications and ADs
- ☒ Lack of a systematic approach to verify AD applicability
- ☐ Inadequate review process for AD compliance

**Category: Communication**

- ☐ Insufficient communication regarding modification impacts on ADs
- ☐ Lack of clarity in documentation related to modifications and ADs

**Category: Training**

- ☒ Insufficient training on AD applicability and modification tracking
- ☐ Lack of training on the importance of thorough review processes

Save Selected

Şekil 2. SAFEJETS MS Kök Neden Önerileri Ekran Görüntüsü

Bu kategorilerin tamamı zorunlu değildir. Eğer bir kategori için yeterli veri yoksa veya o kategori için anlamlı bir öneride bulunamıyorsa, YZ o kategoriye boş geçerek yukarıdaki kategori kümesinin herhangi bir altkümesinde sonuç verebilir. Hem Şekil 2, hem de Tablo 2’de görüleceği üzere, bazı bulgular için her kategoriden öneri alınabilirken, bazı bulgular için sadece 4 kategoride kök neden önerisi alınmıştır.

YZ içeriği zorunlu ya da değiştirilemez değildir. Kullanıcı, ilgili başlıklar altına kendi kök nedenlerini ekleyebileceği gibi, tamamen yeni bir kategori açarak, altına yine kendi kök nedenlerini ekleyebilir.

Tablo 2. YZ Kök Neden Analizi Öneri Örnekleri

| Bulgu                                                                               | Kök Neden Analizi (Balık Kılçığı Yöntemi)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ramp denetiminde acil çıkış kapısının sabitlenmemiş eşyalarla engellendiği görüldü. | <p><b>İnsan / Personel / İnsan Faktörleri:</b> • Yer ekibinin ön uçuş kontrollerinde dikkat eksikliği./ • Emniyet protokollerine ilişkin farkındalık yetersizliği. / • Gevşek eşyaların emniyete alınmasında ihmal.</p> <p><b>Yöntem / Prosedür / Süreç:</b> • Kabin içindeki eşyaların emniyete alınmasına yönelik yetersiz prosedürler./ • Acil çıkış erişilebilirliğinin düzenli kontrol edilmemesi. / • Emniyet prosedürlerinin tutarsız uygulanması.</p> <p><b>Makine / Ekipman / Sistem:</b> • Gevşek eşyalar için uygun depolama çözümlerinin eksikliği./ • Yer operasyonlarında sabitleme donanımı eksikliği.</p> <p><b>Malzeme / Parça:</b> • Eşyaları sabitlemede yetersiz depolama malzemeleri kullanımı.</p> <p><b>Çevre:</b> • Kalabalık apron alanı nedeniyle düzensizlik./ • Ramp tasarımının eşyaların yanlış konumlandırılmasına yol açması.</p> <p><b>Yönetim / Politika:</b> • Apron emniyeti ve eşya yönetimine ilişkin net politika eksikliği./ • Ramp operasyonlarında yetersiz denetim.</p> <p><b>İletişim:</b> • Emniyet protokollerinin yer ekibine yetersiz aktarılması / • Acil çıkış erişiminin önemi hakkında bilgilendirme eksikliği.</p> <p><b>Eğitim:</b> • Acil durum prosedürleri ve eşya yönetimi eğitim eksikliği. / • Yer personeline yönelik düzenli tazeleme eğitimi yapılmaması.</p> |
| EFB yazılımı güncellendi, ancak mürettebatın %20'si hâlâ eski sürümü kullanıyor.    | <p><b>İnsan Faktörleri:</b> • Mürettebatın yazılım güncellemesi konusunda motivasyon eksikliği. / • Güncellenmenin önemine dair farkındalık yetersizliği. / • Önceki sürüme alışkanlıktan kaynaklı direnç.</p> <p><b>Yöntem / Süreç:</b> • Güncelleme tamamlandığını doğrulayan prosedürlerin olmaması./ • Takip mekanizmasının eksikliği./ • Kurulum yönergelerinin yetersizliği.</p> <p><b>İletişim:</b> • Güncelleme duyurusunun etkisiz yapılması./ • Güncelleme yapılmamasının sonuçlarının vurgulanmaması./ • Hatırlatma veya takip iletişimlerinin yapılmaması.</p> <p><b>Eğitim:</b> • Güncellenmenin nasıl yapılacağına dair yetersiz eğitim./ • Yeni sürümün avantajları hakkında bilgilendirme eksikliği.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Uygulanması gereken Uçuşa Elverişlilik Direktifi (AD), TC-XXX için uygulanmamış.    | <p><b>İnsan Faktörleri:</b> • Personelin dikkat eksikliği./ • Modifikasyon numarasının gözden kaçırılması./ • AD uygulanabilirlik kriterlerine ilişkin bilgi yetersizliği.</p> <p><b>Yöntem / Süreç:</b> • AD uygulanabilirliğini doğrulayan prosedürlerin yetersizliği./ • Modifikasyon-AD çapraz kontrol sürecinin eksikliği.</p> <p><b>İletişim:</b> • Modifikasyon geçmişine dair bilgi paylaşımının yetersizliği./ • AD uygulanabilirliği hakkında ekip içi iletişim eksikliği.</p> <p><b>Eğitim:</b> • AD uyumu ve modifikasyon takibi eğitim eksikliği./ • AD kontrollerinin önemi üzerine farkındalık eksikliği.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Yapay zekâ bu noktada DÖF isteğinde bulunulan kişiye olası kök nedenler hakkında öneriler sunarak rehberlik eder. Bu rehberlik sayesinde kullanıcıların problem çözme becerisi gelişeceği ve tekrar eden bulgu oranının düşeceği varsayılmaktadır.

#### 4.3 Bowtie Temelli Risk Analizi

Bowtie (papyon) yöntemi, risklerin neden-sonuç ilişkilerini görselleştirmek için kullanılan bir risk yönetimi aracıdır. Bu yöntem, adını şekil olarak bir papyonu (bow tie) andırmasından alır ve bir olayın meydana gelmesine yol açan tetikleyicilerle (tehditler) bu olayın olası sonuçlarını (consequence) ve bu iki uç arasında yer alan kontrol veya azaltıcı bariyerleri açıkça ortaya koyar. Bowtie diyagramında, merkezde “tehlikeli olay” yer alırken, olayın sol tarafında bu olayı tetikleyebilecek tehditler, sağ tarafında ise olayın gerçekleşmesi halinde ortaya çıkabilecek sonuçlar yer alır. Tehditlerin hemen yanında, olayın meydana gelmesini önlemeye yönelik alınan önleyici bariyerler; sonuçların yanında ise olayın etkilerini azaltmaya veya kontrol etmeye yönelik azaltıcı bariyerler gösterilir. Bu yapı, risklerin sistematik olarak analiz edilmesini ve her aşamada hangi kontrol önlemlerinin mevcut olduğunu görsel olarak izlemeyi mümkün kılar. Böylece hem risklerin daha iyi anlaşılması hem de risk yönetiminde eksik veya geliştirilmesi gereken noktaların tespiti kolaylaşır (Book, 2012). Bowtie yöntemi, özellikle havacılık, enerji ve sağlık gibi yüksek riskli sektörlerde yaygın olarak kullanılmakta ve kurumların proaktif risk yönetimi uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır.

SAFEJETS MS içerisindeki risk yönetim modülünde Bow tie yöntemi kullanılmaktadır. Bu nedenle SAFEJETS MS içerisindeki YZ Risk Analizi aracı, belirli bir risk senaryosu girildiğinde, olası tetikleyicileri (threat), sonuçları (consequence) ve talep edilirse bu riskin izlenmesi için uygun emniyet performans göstergeleri (SPI) bulur ve önerir.

SAFEJETS MS kullanıcı el kitaplarında bu asistan Emniyet Eylem Grubu toplantılarında kullanılmak üzere bir beyin fırtınası aracı olarak önerilmektedir. Bu özellik, risk değerlendirme döngüsünü hızlandırmakta ve yöneticilere proaktif uyarı mekanizmaları sağlamaktadır.

Tablo 3 ve Tablo 4’te SAFEJETS MS içerisindeki YZ Risk Analizinin “Pist İhlali” riski için önerdiği tehditler (tetikleyiciler), sonuçlar, bariyerler (azaltım ve kontrol eylemleri) yer almaktadır.

Tablo 3. SAFEJETS MS “Pist İhlali” riski için tehdit analizi

| Tehdit (Threat)                 | Önleyici / Azaltıcı Bariyerler (Mitigations)                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Yetersiz İletişim            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ATC ve pilotlar için standart iletişim protokolleri uygulamak.</li> <li>• Etkin iletişim teknikleri üzerine düzenli eğitimler yapmak.</li> <li>• Talimatların netliği için dijital iletişim sistemleri (örn. dijital gösterge ekranları) kullanmak.</li> </ul> |
| 2. İnsan Hatası                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uçuş ve yer ekipleri için yorgunluk yönetimi programları uygulamak.</li> <li>• Durumsal farkındalık geliştirmek için simülasyonlar ve eğitimler yapmak.</li> <li>• Pist erişim protokolleri için kontrol listeleri kullanmak.</li> </ul>                       |
| 3. Yetersiz Yer İşaretlemeleri  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pist ve taksi yolu işaretlerini düzenli denetlemek ve bakımını yapmak.</li> <li>• Görünürlüğü artırmak için yansıtıcı malzeme veya aydınlatma kullanmak.</li> <li>• Yer işaretlerinin önemine yönelik farkındalık kampanyaları düzenlemek.</li> </ul>          |
| 4. Araç Yönetiminde Yetersizlik | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pist bölgelerine araç erişimi için sıkı protokoller oluşturmak.</li> <li>• Yer araçlarını izlemek için araç takip sistemi kurmak.</li> <li>• Yer personeline pist emniyeti prosedürleri eğitimi vermek.</li> </ul>                                             |
| 5. Yetersiz Eğitim              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pist emniyeti odaklı kapsamlı eğitim programları geliştirmek.</li> <li>• Bilgi ve becerileri tazelemek için düzenli eğitimler yapmak.</li> <li>• Simülasyon eğitimleriyle ihlal senaryolarını çalışmak.</li> </ul>                                             |
| 6. Zayıf Durumsal Farkındalık   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kokpit kaynak yönetimi (CRM) tekniklerinin kullanımını teşvik etmek.</li> <li>• Tüm personel için durumsal farkındalık bilgilendirmeleri yapmak.</li> <li>• Yer radarları gibi teknolojilerle gerçek zamanlı durum farkındalığı sağlamak.</li> </ul>           |
| 7. Yetersiz ATC Prosedürleri    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ATC prosedürlerini düzenli olarak gözden geçirip güncellemek.</li> <li>• ATC iletişim ve prosedür denetimleri yapmak.</li> <li>• Pist yönetimi konusunda ATC personeline sürekli eğitim sağlamak.</li> </ul>                                                   |
| 8. Çevresel Faktörler           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gelişmiş hava durumu izleme sistemleri uygulamak.</li> <li>• Olumsuz hava koşulları için operasyonel acil durum planları hazırlamak.</li> <li>• Çevresel risklere karşı tanıma ve tepki eğitimleri vermek.</li> </ul>                                          |
| 9. Teknoloji Arızaları          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teknolojik sistemleri düzenli bakım ve güncellemelerle güvenilir tutmak.</li> <li>• Arızalara karşı yedek (redundant) sistemler oluşturmak.</li> <li>• Teknoloji kesintilerine hazırlık tatbikatları yapmak.</li> </ul>                                        |

Tablo 4. SAFEJETS MS “Pist İhlali” riski için sonuç analizi

| Sonuç<br>(Consequence)                     | Azaltıcı / Hafifletici Bariyerler (Mitigations)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1.Çarpışma Riski</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hava trafik kontrolü ile uçuş ekipleri arasındaki iletişim protokollerini güçlendirmek.</li> <li>Yer personeline pist emniyeti prosedürleri konusunda düzenli eğitimler vermek.</li> <li>Pist faaliyetlerini izlemek için gelişmiş gözetim teknolojilerini kullanmak.</li> </ul>                                                   |
| <b>2.Operasyonel Gecikmeler</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pist ihlallerini yönetmek ve gecikmeleri en aza indirmek için hızlı müdahale ekibi kurmak.</li> <li>Yer operasyonları ile hava trafik kontrolü arasındaki koordinasyonu artırmak.</li> <li>İhlallerin analiz edilmesi ve öğrenilmesi için güçlü bir olay raporlama sistemi uygulamak.</li> </ul>                                   |
| <b>3. Artan Sigorta Maliyetleri</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pist ihlallerine yol açan faktörleri belirlemek ve azaltmak için kapsamlı risk değerlendirmeleri yapmak.</li> <li>Sigorta sağlayıcılarıyla risk yönetimi stratejileri hakkında iletişim kurmak.</li> <li>Pist emniyeti taahhüdünü gösteren emniyet girişimleri uygulamak.</li> </ul>                                               |
| <b>4.Düzenleyici Denetim ve Soruşturma</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tüm düzenleyici gerekliliklere ve pist emniyeti en iyi uygulamalarına tam uyumu sağlamak.</li> <li>Güvenlik protokollerini düzenleyici beklentilerle uyumlu olacak şekilde düzenli olarak gözden geçirmek ve güncellemek.</li> <li>Emniyete bağlılığı göstermek için düzenleyici otoritelerle proaktif iletişim kurmak.</li> </ul> |
| <b>5.Yolcu Güvenliği Endişeleri</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Yolculara mevcut güvenlik önlemleri hakkında bilgilendirme yapmak.</li> <li>Yolcu farkındalığını artırmak için pist emniyeti konusunda kamu bilinci kampanyaları yürütmek.</li> <li>Yolcu endişelerini ele almak için geri bildirim mekanizmaları oluşturmak.</li> </ul>                                                           |
| <b>6.Uçak ve Altyapı Hasarı</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pist ve taksi yolu altyapısının düzenli denetim ve bakımını yapmak.</li> <li>İzinsiz girişleri önlemek için pist alanına sıkı erişim kontrolleri uygulamak.</li> <li>Potansiyel ihlalleri gerçek zamanlı tespit edip personeli uyararak teknolojiler kullanmak.</li> </ul>                                                         |
| <b>7.Hukuki Sorumluluk</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hukuki sonuçları etkin biçimde yönetmek için kapsamlı olay müdahale planları geliştirmek.</li> <li>Hukuki danışmanlarla çalışarak sorumluluk koruma önlemlerini güçlendirmek.</li> <li>Hukuki savunmaları desteklemek için kapsamlı dokümantasyon uygulamaları benimsemek.</li> </ul>                                              |



|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>8. İtibar Kaybı</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Olaylara şeffaf biçimde yanıt verecek bir kriz iletişim planı uygulamak.</li> <li>• Güveni yeniden tesis etmek için toplumla iletişim ve bilinçlendirme faaliyetleri yürütmek.</li> <li>• Güvenlik başarılarını ve iyileştirmeleri iletişim materyallerinde vurgulamak.</li> </ul> |
| <b>9.Yer Ekibi Moralinin Düşmesi</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yer personeline ruh sağlığı desteği ve kaynakları sağlamak.</li> <li>• Pozitif bir çalışma ortamı için düzenli ekip çalışması ve motivasyon etkinlikleri düzenlemek.</li> <li>• Güvenlik endişeleri ve iyileştirme önerileri hakkında açık iletişimi teşvik etmek.</li> </ul>      |

#### 4.4 MOC (Management of Change) Değişimin Yönetimi Risk Analizi

Değişiklik Yönetimi (MOC), organizasyonlarda yapılan her türlü değişikliğin sistematik ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayan kritik bir süreçtir. Özellikle havacılık gibi yüksek emniyet seviyesi gerektiren sektörlerde, değişikliklerin plansız veya denetimsiz şekilde yapılması; emniyet, yasal uyumluluk ve operasyonel bütünlük açısından ciddi riskler doğurabilir. Bu nedenle MOC süreçleri, değişikliğin potansiyel etkilerini önceden değerlendirmeyi ve olası olumsuz sonuçları en aza indirmeyi amaçlar.

MOC Risk analizi ise, yapılacak değişikliğin beraberinde getirebileceği tehlikeleri ve bu tehlikelere karşı alınması gereken önlemleri sistematik olarak belirler. Böylece, insan faktörlerinden altyapı ve teknolojiye kadar farklı alanlarda riskler önceden tespit edilir ve bunlara yönelik etkili kontrol mekanizmaları geliştirilir. Risk analizinin etkin bir şekilde uygulanması hem operasyonel sürekliliğin hem de çalışan ve yolcu emniyetinin sağlanmasında hayati bir rol oynar. Sonuç olarak, MOC ve ona entegre edilen risk analizleri, sürdürülebilir ve emniyetli bir işletme için vazgeçilmezdir.

SAFEJETS MS’te değişiklik yönetimi süreçlerinde kullanılmak üzere tasarlanan MOC Analyzer sistemi, tasarlanan değişikliğin doğurabileceği olası riskleri tespit eder. Bu riskleri aşağıdaki altı kategoride tasnif etmektedir:

- i) İnsan Faktörleri
- ii) Uçak Sistemleri & Teknoloji
- iii) Bakım ve Uçuşa Elverişlilik
- iv) Operasyon ve Prosedürler
- v) Mevzuat ve Uyumluluk
- vi) Altyapı ve Tesisler

Bunu, geçmiş MOC kayıtları, olay raporları ve risk matrisleriyle karşılaştırarak yapar. AI destekli bu analiz, kullanıcıyı kritik risklere karşı önceden uyarır ve kontrol önlemleri oluşturmada yardımcı olur.

*Tablo 5.*

| Kategori                          | Açıklama / Alt Alan                                           | Risk Tanımı                                                                                                                                                      | Risk Seviyesi      |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>İnsan Faktörleri</b>           | Mürettebat eğitimi, yetkinlik ve insan performansı faktörleri | Resmî adres değişikliği, düzenleyici otoritelerden gelen kritik bildirimlerde veya güncellemelerde yanlış anlaşılmalara ve iletişim aksaklıklarına yol açabilir. | <b>Yüksek Risk</b> |
| <b>Bakım ve Uçuş Elverişlilik</b> | Bakım programları, uçuş elverişlilik uygunluğu ve denetimler  | Bakım kayıtları ve teknik dokümantasyonda eski adresin yer alması, denetimler sırasında tutarsızlıklara veya uygunsuzluk bulgularına neden olabilir.             | <b>Orta Risk</b>   |
| <b>Operasyon ve Prosedürler</b>   | Uçuş operasyonları, prosedürler ve operasyonel dokümantasyon  | Eski adresin SOP'lerde yer alması, personel arasında iletişim protokolleriyle ilgili karışıklığa neden olabilir.                                                 | <b>Orta Risk</b>   |
| <b>Mevzuat ve Uyumluluk</b>       | Havacılık mevzuatı, uygunluk ve emniyet yönetimi              | Resmî adresin SHGM/EASA gibi havacılık otoritelerine bildirilmemesi, düzenleyici gerekliliklere uyumsuzluk oluşturabilir.                                        | <b>Yüksek Risk</b> |

Tablo 5'te, SAFEJETS MS'ten elde edilen “resmi adres değişikliği” değişimine ilişkin riskler yer almaktadır. SAFEJETS MS, 4 kategoride 2'si yüksek, 2'si orta derecede sınıflanmış birer adet olmak üzere, toplamda 4 adet risk önermiştir.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada SAFEJETS MS adlı, Türkiye menşeli yazılımın özellikler incelenmiştir. Havacılığın diğer alanlarında yapılmış olan bilimsel araştırmalara ait oldukça geniş sistematik ve bibliyometrik bir analize Demir vd. (2024) çalışmasından ulaşılabilir. Bu çalışmanın yazarının bildiği kadarıyla ve Demir vd. (2024) sistematik gözden geçirmesinde de yer almadığı üzere, doğrudan uyumluluk izleme ve ICAO SMS kapsamındaki emniyet yönetim süreçlerinde, denetçi, yöneticiler ve personele karar destek sistemi olarak rol alan bir uygulama ya da bu yönde bir çalışma bulunmamaktadır.

SAFEJETS MS deneyimi, yapay zekânın havacılıkta sadece teknik analiz değil, aynı zamanda yönetim ve kültürel dönüşüm aracı olarak da işlev görebileceğini ortaya koymaktadır. AI destekli öneri sistemleri,

denetçilerin bilgi birikimini sistematik biçimde yansıtarak kurumsal hafızayı güçlendirmekte, kullanıcılar arası tutarlılığı artırmaktadır. Ancak kullanıcı güveni, veri kalitesi ve açıklanabilirlik (explainable AI) halen kritik öneme sahiptir.

Bazı kullanıcılar sistemin önerilerini sorgulama eğilimindedir; bu nedenle şeffaflık, eğitim ve

geri bildirim mekanizmaları hayati rol oynamaktadır.

Çalışmada konu alınan örnek yazılım SAFEJETS MS, sınırlı süre ve kaynakla bile yapay zekânın havacılık yönetimi süreçlerine anlamlı katkılar sunabileceğini göstermektedir.

SAFEJETS MS'in dört temel yapay zekâ modülü, havacılıkta emniyet ve kalite süreçlerinin dijitalleşmesinde önemli bir örnek teşkil etmektedir. CAPA öneri motoru, kök neden analizi, Bowtie tabanlı SPI öneri sistemi ve MOC risk analizi birlikte çalışarak uçtan uca bir emniyet zekâsı ekosistemi oluşturmuştur.

Gelecekte sistemin performansının artırılması için üç temel öneri öne çıkmaktadır:

- (1) Yapay zekâ algoritmalarının açıklanabilirliğini artırmak,
- (2) Kullanıcı geri bildirimlerinden öğrenen adaptif modeller geliştirmek,
- (3) AI yönetişimi ve etik çerçevelerini SMS politikalarıyla entegre etmek.

Bu adımlar atıldığında, YZ temelli yönetim sistemi yazılımları, yalnızca bir yazılım değil, aynı zamanda havacılık yönetimi alanında sürdürülebilir bir yapay zekâ dönüşüm modeli olarak konumlanacaktır. SAFEJETS MS örneği, veri temelli ve öğrenen organizasyon yaklaşımının Türkiye havacılık endüstrisinde uygulanabilirliğini kanıtlayan bir öncü uygulama olarak değerlendirilebilir.

## Kaynakça

- 2024 FAA Safety Data Challenge Winner Announcement. (2024, Aralık 19). 2024 FAA Safety Data Challenge Winner Announcement
- Bernard, W., & Hoffmann, A. (2023, Eylül 14). SKYWISE-Big data platform as a foundation of airlines predictive and health monitoring. *4th Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management*. <https://aircraft.airbus.com/en/s>
- Bilsel, R. U., & Lin, D. K. J. (2012). Ishikawa Cause and Effect Diagrams Using Capture Recapture Techniques. *Quality Technology & Quantitative Management*, 9(2), 137-152. <https://doi.org/10.1080/16843703.2012.11673282>
- Book, G. (2012, Nisan). Lessons Learned from Real World Application of the Bow-tie Method. *SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition*.
- Demir, G., Moslem, S., & Duleba, S. (2024). Artificial Intelligence in Aviation Safety: Systematic Review and Biometric Analysis. İçinde *International Journal of Computational Intelligence Systems* (C. 17, Sayı 1). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s44196-024-00671-w>
- EASA. (2023). *ARTIFICIAL INTELLIGENCE ROADMAP 2.0: Human-centric approach to AI in aviation*. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-20>
- ENTROPOL. (2025). *SAFEJETS MS*. <https://www.safejets.net/safejets-ms-brochure>
- Flair Airlines. (2025, Ocak). Case Study: AI for efficiency at Flair Airlines. *Aircraft IT OPS*.
- Fu, S., & Avdelidis, N. P. (2023). Prognostic and Health Management of Critical Aircraft Systems and Components: An Overview. İçinde *Sensors* (C. 23, Sayı 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s23198124>
- Garvin, D. A. (1988). *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*. Free Press. <https://books.google.com.tr/books?id=K-LWY2qgSHwC>
- Hawley, D. (2025, Ekim 3). *When AI takes off: how aviation is becoming smarter and safer*. <https://www.sedgwick.com/blog/when-ai-takes-off-how-aviation-is-becoming-smarter-and-safer>
- John, E., & Cianfrani, C. A. (2016). Where is preventive action? *Quality Progress*, 49(3), 56.
- Lang, S. (2023, Eylül 14). AVIATAR-Deep dive into prediction with AVIATAR with in-service examples from airlines. *4th Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management*. [www.aviatar.com](http://www.aviatar.com)

- Merlo, T. R. (2024). Emerging Role of Artificial Intelligence (AI) in Aviation: Using Predictive Maintenance for Operational Efficiency. İçinde A. A. Yilmaz (Ed.), *Harnessing Digital Innovation for Air Transportation* (ss. 28-46). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0732-8.ch002>
- Mgbachi, V. (2024). AI in Business Aviation Route Optimization: Reducing Fuel Consumption and Environmental Impact. *Journal of Business and Strategic Management*, 9(5), 48-82.
- Nanyonga, A., Wasswa, H., Joiner, K., Turhan, U., & Wild, G. (2025). A Multi-Head Attention-Based Transformer Model for Predicting Causes in Aviation Incidents. *Modelling*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/modelling6020027>
- Nimmala, R. (2023). Applying Machine Learning to Financial Risk Management for Fuel Savings and Carbon Emissions Reduction in Airline Operations. *Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Data Science*, 1(3), 308-311. <https://doi.org/10.51219/jaimld/rohit-nimmala/90>
- Pilon, R. V. (2024). *Artificial Intelligence in Commercial Aviation*. Routledge.
- Ricketts, J., Barry, D., Guo, W., & Pelham, J. (2023). A Scoping Literature Review of Natural Language Processing Application to Safety Occurrence Reports. İçinde *Safety* (C. 9, Sayı 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/safety9020022>
- safejets.net. (2022, Ağustos 25). *SAFEJETS QMS is ready*. SAFEJETS.net.
- safejets.net. (2024, Kasım 22). *Exciting Update: SAFEJETS QMS is Now SAFEJETS MS*. Safejets.net.
- SHGM. (2018). *Uyumluluk izleme fonksiyonunun izlenmesine ilişkin talimat (SHT-UYUMLULUK İZLEME)*.
- Siddeshwar, V., Azim, A., Alwidian, S., & Makrehchi, M. (2024). Towards Enhancing Aviation Safety Through Advanced Incident Analysis Using Large Language Models. *2024 34th International Conference on Collaborative Advances in Software and ComputING (CASCON)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/CASCON62161.2024.10837802>
- Tikayat Ray, A., Bhat, A. P., White, R. T., Nguyen, V. M., Pinon Fischer, O. J., & Mavris, D. N. (2023). Examining the Potential of Generative Language Models for Aviation Safety Analysis: Case Study and Insights Using the Aviation Safety Reporting System (ASRS). *Aerospace*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/aerospace10090770>
- Waldhorn, J. R. (2024, Kasım). Improving efficiency of Wizz Air's taxi fuel planning. *Aircraft IT OPS*.



## Uçuş Planlamada Yapay Zeka Uygulamaları 8

Ali Akbaba<sup>1</sup>

### Özet

Yapay zekâ (AI-Arifical Intelegence) uygulamaları birçok sektörde kendisine kullanım alanı bulmuştur. Başka bir ifade ile Yapay zekâ uygulamalarının süreçlerini etkilemediği sektör yok gibidir. Günümüzde hava trafiğinin yoğunluğu yönetilmesi ilave önlemler gerektiren bir seviyeye ulaşmıştır. Herhangi bir zamanda uçuş gerçekleştiren on binlerce uçak bulunmaktadır. Bu büyümeyi yönetebilmek için havacılık sektörü de yapay zekâ uygulamalarından faydalanabilir. Bir havayolu süreci olan uçuş planlama yapay zekanın kullanıldığı alanlardan biri olabilir. Bu çalışmada uçuş planlama sürecinde yapay zekâ uygulama gelişmeleri literatürden araştırılarak ortaya konmaktadır. Literatür taraması sonucunda AI-tabanlı uçuş planlama programları ile ilgili çalışmalar ve sektör uygulamaları olduğu görülmüştür. Makine Öğrenimi algoritmaları ile geçmiş meteoroloji raporlarını kullanarak öngörülerin doğruluk oranını arttırma hususunda çalışmalar ve uygulamalar mevcuttur. Aynı zamanda uçuş sahası limiti, kalkış saati, zaman pencereleri ve rota bağlantısı gibi kısıtlamaları analiz eden AI modellerinin içerdikleri makine öğrenmesi algoritmaları yöneticilere ve uçuş harekât uzmanının rota tercihi sunarak optimizasyon sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Gelişmeler gösteriyor ki İleride büyüyen hava trafiğini yönetebilmek için uçuş planlama programlarının, sefer öncesi planı hazırladıktan sonra uçuş boyunca seferin izlenmesi (monitör etmek) ile oluşabilecek değişiklikleri entegre eden proaktif bir nitelikte olması gerekmektedir. AI uygulamaları bu dönüşümü sağlayabilecek yeterlilikte görünmektedir.

### Giriş

Günümüzde hava trafiğinin yoğunluğu yönetilmesi ilave önlemler gerektiren bir seviyeye ulaşmıştır. Herhangi bir zamanda uçuş gerçekleştiren on binlerce uçak bulunmaktadır (Simorgh et al., 2024; Wang et al., 2025). Uçuş planının amacı bir uçağın iki nokta arasındaki uçuşunun emniyetli

1 Dr Öğretim Üyesi, İstanbul Topkapı Üniversitesi, aliakbaba@topkapi.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1745-8029



şekilde gerçekleştirilebilmesi için şartlara uygun hazırlanan planı hem ATC'ye (Air Traffic Control-hava trafik kontrol) hem de sefer kaptanlarına göndererek koordinasyonu sağlamaktır.

Yapay zekâ (AI), insana ait bazı özellikleri kullanarak, bilgisayar sistemi ve algoritma oluşturma bilimi şeklinde tanımlanabilir. İnsana ait kullanılan özelliklere öğrenme, problem çözme, karar verme gibi fonksiyonlar örnek olarak verilebilmektedir (Golec et al., 2025; Grzybowski et al., 2024). Bu bölümde uçuş sürecin planlanmasında yapay zekâ uygulamalar ile ilgili çalışmalar ve sektör yapay zekâ kullanımı ile ilgili literatür taraması yapılarak hangi AI modellerin öne çıktığı belirtilecektir. Ve gelecekte yapay zekanın uçuş planlamadaki rolü aktarılacaktır.

Literatür taraması sonucunda AI-tabanlı uçuş planlama programları ile ilgili çalışmalar ve sektör uygulamaları olduğu görülmüştür. Makine Öğrenimi algoritmaları ile geçmiş meteoroloji raporlarını kullanarak öngörülerin doğruluk oranını arttırma hususunda çalışmalar ve uygulamalar mevcuttur. Aynı zamanda uçuş sahası limiti, kalkış saati, zaman pencereleri ve rota bağlantısı gibi kısıtlamaları analiz eden AI modellerinin içerdikleri makine öğrenmesi algoritmaları yöneticilere ve uçuş harekât uzmanı rota tercihi sunarak optimizasyon sağlanmasına katkıda bulunmaktadır.

İleride büyüyen hava trafiğini yönetebilmek için uçuş planlama programlarının, sefer öncesi planı hazırladıktan sonra uçuş boyunca seferin izlenmesi (monitör etmek) ile oluşabilecek değişiklikleri entegre eden proaktif bir nitelikte olması gerekmektedir. AI uygulamaları bu dönüşümü sağlayabilecek yeterlilikte görünmektedir (IATA, 2024).

## 1. Uçuş Planı Kavramına Genel Bakış

Günümüzde hava trafiğinin yoğunluğu yönetilmesi ilave önlemler gerektiren bir seviyeye ulaşmıştır. Herhangi bir zamanda uçuş gerçekleştiren on binlerce uçak bulunmaktadır (Simorgh et al., 2024; Wang et al., 2025). Uçuş planının amacı bir uçağın iki nokta arasındaki uçuşunun emniyetli şekilde gerçekleştirilebilmesi için uçuşu planlayıp hem ATC'ye hem de sefer kaptanlarına bu planı göndererek koordinasyonu sağlamaktır. Bu koordinasyon uçuş planında yer alan rota, seviye, hız gibi bilgiler sayesinde gerçekleşmektedir. Başka bir ifade ile uçuş planı ATC üniteleri ile sefer kaptanları arasında içerdiği bilgiler sayesinde iletişim aracı görevi görmektedir. İlave olarak, ikaz arama kurtarma çalışmalarını kolaylaştırma ve güvenlik nedenleri de uçuş planının amaçlarından biridir (uzun et al., 2019). Uçuş planı üretmek ATC ve sefer kaptanlarına sunmak havayolları için uyulması mecburi bir faaliyettir. Uçuş planı ATC ve operasyonel olmak



planının geniş bir versiyonu olarak bildirilebilir ve aynı bilgileri içermektedir (SKYbrary, Flight plan, N.D; SKYbrary, Flight Plan Completion, N.D; Eurocontrol, 2019) EK-3'de örnek bir operasyonel uçuş planı görülmektedir (Researchgate, 2023).

Uçuş planları günümüzde genellikle teleks ile hava trafik ünitelerine gönderilmektedir. Bu birimler bu uçuş planına iki şekilde geri dönüş yapmaktadırlar (Eurocontrol, 2019; FAA, 2012);

- Kabul (acknowledge); bu mesaj uçuş planının onaylandığını belirtmektedir.
- Ret (reject); bu mesaj bir uçuş planının gerekçesi ile birlikte onaylanmadığını belirtmek amacını taşımaktadır.

Havayolları uçuşlarını karmaşık bir ortamda yürütmektedirler. Bu nedenle kabul edilmiş uçuş planlarında değişiklik yapma gerekliliği ortaya çıkabilmektedir; Aşağıdaki üç mesaj tipi ile bu değişiklikleri hava trafik ünitelerine bildirmektedirler (FAA, 2012; Eurocontrol, 2019);

- Gecikme (Delay); bir seferde gecikme olduğunda bunu bildirmek için hava trafik ünitelerine çekilen mesajdır.
- Değişiklik (Change); gecikme dışında uçuş operasyonla ilgili değişiklikleri bildirmek için hava trafik ünitelerine çekilen mesajdır.
- İptal (Cancel); bir sefer herhangi bir nedenden iptal edildiğinde hava trafik ünitelerine bildirmek için çekilen mesajdır.

Bir uçuş planı hazırlanırken genel olarak üç faktör dikkate alınmaktadır;

- Hava sahası bilgi yayınları
- Havacılık meteoroloji raporları
- Uçak arızaları

## 1.1 Hava Sahası Bilgi Yayınları

### 1.1.1 AIP

Havacılık Bilgi Yayını (AIP), bir ülkenin hava sahasını yönetmekte yetkili olan havacılık otoritesi tarafından ICAO ile iş birliği sonucu uçuş ile ilgili kurum ve kişiler için yayınlanan ve havacılık faaliyetlerinde gerekli olan kalıcı ve uzun süreli geçici nitelikte bilgileri içeren dokümandır (ICAO Ek-15, 2018). Uçuş planları hazırlanırken bu bilgiler, prosedürler ve kurallar kontrol edilerek uçuş operasyonun bu gerekliliklere uygun olarak hazırlanması emniyet açısından kritik önemdedir (Montazeri ve Montazeri, 2026).

### 1.1.2 NOTAM

NOTAM AIP’de yer almayan ve uçuş operasyon ile ilgili kurum ve kişilere uçuşları etkileyebilecek geçici veya sürekli değişiklikleri bildiren yayınlardır ve ilgili ülkenin havacılık otoritesi tarafından yayınlanmaktadır. “Notice to airmen (mission)” kelimelerini kısa bir şekilde ifade etmek amacıyla oluşturulmuş bir kısaltmadır (ICAO Ek-11, 2018; ICAO Ek-15, 2018). Havacılık otoritesi tarafından uçuş hareketiyle ilgili paydaşlara (kaptan gibi) NOTAM yayınları genellikle aşağıdaki hadiseleri bildirmek amacıyla hazırlanmaktadır (Montazeri ve Montazeri, 2026; Morâraşu and Roman, 2025; SKYbrary, Notam, N.D):

- Askeri ve sivil uçuş gösterilerin etkilerini duyurmak,
- VIP (very important person-Üst düzey ülke yetkilileri) seferlerinin etkilerini ilgili kişilere bildirmek,
- Pist, apron ve taksi yolları kısıtlamalarının etkilerini bildirmek,
- Hava sahası tahditlerinin veya kapalılıklarının etkilerini duyurmak,
- Pist, taksi yolları veya meydandaki herhangi bir çalışmanın (inşaat çalışması gibi) etkilerini bildirmek,
- Arızalı ya da kullanım dışı olan seyrüsefer ekipmanların etkilerini duyurmak,
- Askeri faaliyetlerin etkilerini duyurmak,
- Havaalanı çevresinde devamlı olmayan veya sürekli seferleri etkileyecek maniaları duyurmak,
- Yağmur, kar gibi yağışların piste uçuş operasyonu açısından etkilerini duyurmak (SNOWTAM).

Bu bildirimler farklı şekillerde yayınlansa da genellikle ICAO formatında iletilmektedir. Aşağıda ICAO formatında yayınlanmış bir NOTAM örneği görülebilmektedir (ICAO, (2018);

A1543/24 NOTAMN

Q) LTAA/QNDAS/IV/BO/AE/000/999/3652N03047E025

A) LTAI B) 0407011250 C) 0410011250

E) ANT DME CH28XOUT OF SERVICE

Yukarıdaki bildirim kısaca aşağıdaki şekilde kodlanabilmektedir (ICAO Ek-15, 2018):

- A1543; notam yayın numarası,

- 24; notamın yayınlandığı yıl,
- N (NOTAMN); yeni (New) bildirim,
- Q; hava sahasını, notamın konusunu, etkilediği uçuş tipini ve etkilediği koordinatları bildiren kodların yer aldığı kısım,
- A) LTAI: havaalanının ICAO kodu (Antalya),
- B) 2407011250 C) 2410011250; bildirimin başladığı ve bittiği tarihi göstermektedir (01 Temmuz 2024 saat 1250utc'de başlayacak ve 01 Ekim 2024 saat 1250utc'de bitecek)
- E) ANT DME CH28XOUT OF SERVICE; bildirimin text şeklinde konusunun belirtildiği kısımdır.

Yukarıdaki örnekte de görüleceği gibi bu bildirimlerin uçuş planına etkileri incelenerek emniyetli bir uçuş planı oluşturmak kritik önemdedir. Bu bildirimler inilecek ve kalkış yapılacak pist, uçulacak rota, tüketilecek yakıt gibi önemli hususları etkileyebilmektedir.

## 1.2. Havacılık Meteoroloji Raporları

Havacılık operasyonlarının emniyetli, etkin, ekonomik ve çevreye en az zarar verecek şekilde icra edilmesinde havacılık meteoroloji raporları kritik önemdedir. Sis, kar gibi bazı meteorolojik hadiseler operasyonun planlandığı gibi gerçekleşmesine engel olabilmektedir. Bu sebeple, meteoroloji raporları mevcut hava durumu koşulları ve gelecekteki olması muhtemel hava durumu tahminleri ile ilgili riskler konusunda havacılık paydaşlarını bilgilendirmektedir (Kwasiborska et al., 2023). ICAO Ek 3'e göre her ICAO üyesi ülke uluslararası hava ulaşımı için meteoroloji hizmeti sağlayabilecek yeterlilikte çalışanın görev aldığı ve Dünya Meteoroloji Organizasyonunun istediği gereklilikleri sağlayan bir meteoroloji otoritesini yetkilendirmekle sorumludur; Türkiye'de Meteoroloji genel müdürlüğü yetkilendirilmiştir (ICAO EK 3, 2018). Meteoroloji raporları havayolları için kritik önemdedir çünkü uçuşlar ile ilgili aşağıdaki kararların alınmasına rehberlik etmektedir (Gültepe and feltz, 2019; Kwasiborska et al., 2023; FAA, Chapter 12 Weather Theory, N.D; WMO, Aviation, N.D);

Emniyet – Oraj, türbülans gibi bazı riskli hadiselerden kaçınmak ya da bu şartlara hazırlanmak.

Tarife – Güçlü rüzgarlar gibi olumsuz hava koşulları seferlerin ötelenmesine veya icra edilmemesine yol açabilmektedir. Bu olumsuz koşullar havayollarının tarifelerini planladıkları gibi icra edilmesini engelleyebilmektedir.

Uçuş planı – Bazı hava hadiseleri bir uçuşun planlanmasını etkileyebilmektedir. Örneğin rüzgarın hızı rotayı, görüş yaklaşma pistini ve yakıt planlamasını etkilemektedir.

Hava trafik yönetimi – Meteoroloji raporları, trafik yoğunluğunu tahmin etmek ve yönetmek ve uçaklar arasında emniyetli mesafeyi belirlemek için kritik önemdedir.

Havalimanı Operasyonları – Meteorolojik hadiseler meydan trafiğini yönetmekte önem arz etmektedir; iniş ve kalkış pistinin belirlenmesi, yükleme, boşaltma işlemleri, de-icing işlemleri gibi havalimanı operasyon yönetimi ile ilgili kararlarda belirleyici rol oynamaktadır.

### 1.2.1 Hava Olayları ve Uçaklar Üzerindeki Etkileri

Hava durumu seferlerin icra edilmesini etkileyebilmektedir. Bu etkileri belirleyebilmek amacıyla meteoroloji raporlarını kontrol etmek uçuş planlayıcılar ve karar alıcılar açısından önem arz etmektedir. Hava durumunun uçuş operasyona etkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir (Goodman and Griswold, 2019; Gültepe and feltz, 2019; Kwasiborska et al., 2023; FAA, Chapter 12 Weather Theory, N.D);

#### 1.2.1.1 Rüzgarlar

Uçakların kalkıştan sonra alçalma sürecine kadar, başka bir ifade ile düz uçuşta, yüksek seviye rüzgarlarının hız ve yön bilgisi uçuş planında rota ve seviye planlaması açısından incelenmesi gerekli parametrelerdir. Düz uçuşta kuyruktan esen rüzgâr (Tail wind) planlama açısından yakıt sarfiyatı boyutunda avantaj sağlamaktadır. Kuyruktan esen rüzgâr uçağın hızını pozitif yönde etkilerken önden esen rüzgâr (headwind) negatif yönde etkileyecektir. Hem zamandan hem de yakıttan tasarruf sağlayabilmek için uçuşu planlayan uçuş harekât uzmanının meteorolojik raporlarda yer alan yüksek seviye rüzgâr hızını ve yönünü kontrol etmeleri kritik önemdedir (WMO, Aviation, N.D; Abbas, 2012).

Uçakların iniş ve kalkış sürecinde düşük hızlarda tutunabilmelerini pozitif yönde etkilediğinden rüzgârın önden esmesi avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle pilotların, uçuş harekât mezununun ve hava trafiğini yöneten kontrolörlerin inilecek ve kalkış yapılacak pist yönünü en optimum rüzgâr faydası sağlayacak şekilde seçmelerinde havaalanı rüzgâr bilgisini sunan meteoroloji raporları kontrol edilmelidir (Abbas 2021; Škulstét et al., 2021)

### 1.2.1.2 Görüş Mesafesi

Ticari uçaklar inerken ve kalkarken havaalanında bulunan ve iniş ve kalkış sürecini kolaylaştıran bazı yaklaşma kolaylıkları kullanmaktadır (ILS Gibi). Bu ekipmanlar havaalanından havaalanına değişmektedir ve inişin ve kalkışın yapılabilmesi için genelde belirli bir yatay ve dikey görüş mesafesi gerektirmektedirler. Bazı meteorolojik hadiseler görüş mesafesini etkilemektedir; sis, kar, yağmur gibi. Bu nedenle karar vericiler uçuş planını hazırlarken hem yatay hem de dikey görüş mesafesine gereksinim duymaktadırlar. Eğer görüş mesafeleri meteoroloji tahmin raporlarında gerekli minimum görüşün altında bildirilmiş ise sefer için şartlara göre gecikme ve iptal kararı verilebilir (Gültepe, 2023).

Görüş mesafesi hava trafiğinin yönetimi için de önemli bir girdidir. İniş ve kalkış trafiği sayısının görüş düştüğünde azaldığı görüş yüksek olduğunda arttığı bildirilebilir.

### 1.2.1.3 Sıcaklık

Sıcaklık uçuş operasyonlarını hem yerde hem de düz uçuşta etkilemektedir. Havanın yoğunluğu sıcaklık arttıkça düşmektedir ve sıcaklık düştükçe artmaktadır. Bu nedenle düşük sıcaklıklarda motorların gerekli havayı çekebilmeleri için daha fazla güç gerekmektedir. Dolayısı ile sıcaklık uçuş plan açısından düz uçuşta gerekli yakıtın belirlenmesinde önem arz etmektedir. Bu sebeple planlayıcılar için yüksek seviyelerdeki sıcaklık tahminleri kontrol edilmesi gereken bir veridir (Borsky and Unterberger, 2019).

İkinci olarak, kalkış sırasında sıcaklık pist mesafesini, kalkış ağırlığını ve kalkış hızını belirlemek için gerekli bir veridir. Düşük sıcaklıklarda yoğunluk azaldıkça gerekli hava miktarını çekmek daha fazla motor gücü gerektirdiğinden ve yoğunluk arttıkça daha az motor gücü gerektiğinden bu veri uçuşun emniyetli icra edilmesinde kritik önemdedir (Coffel and Radley, 2015).

### 1.2.1.4 Atmosferik Basınç

Basınç düştükçe hava yoğunluğu azalmaktadır. Bu sıcaklık faktöründe olduğu gibi gerekli havayı motorlara çekebilmek için daha fazla motor gücünü gerektirmektedir. Bu sebeple yakıt tüketimini belirleme sürecinde uçuş hareket uzmanının basınç bilgisini kontrol etmesi gerekmektedir (Safronov, 2019).

İrtifa arttıkça belirli bir düzende basınç düşmektedir. Bu veri altimetre (irtifa göstergesi) için basınç değerinden uçağa irtifa bilgisi vermekte



kullanılmaktadır. Referans basınç verisine göre gösterge (altimetre) yükselirken ve alçalırken ölçülen basınç değişimlerini karşılaştırarak uçuş ekibine uçağın irtifası konusunda bilgi vermektedir (Ostroumov, 2024).

#### 1.2.1.5 Yağış

Yağış, kar, yağmur, oraj gibi meteorolojik hadiseleri ifade etmektedir. Yağış şiddetine göre yağdığı bölgede görüşü düşürmektedir. Görüş hem kalkış sürecinde hem de iniş sürecinde seferler açısından kritik önemdedir. Eğer gerekli minimum görüşün altına düşme ihtimali mevcutsa sefer için gecikme kararı veya iptal kararı alınabilir. Ayrıca görüş havadaki uçaklar için iniş sürecinde havada beklemeyi gerektirebileceğinden yakıt planlaması açısından da önem arz etmektedir (Gultepe, 2023; FAA, Section 1. Meteorology, N.D).

Kar yağışı yerde uçağın üzerine biriktiğinde uçağın aerodinamik yapısının bozulmasına neden olarak taşıma kuvveti kayıplarını ortaya çıkarabilmektedir. Uçak üzerinde kar birikmesini ya da buzlanmayı önlemek amacıyla uçağın yüzeyine de-icing işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem yerde uçağın kalkışa kadar geçireceği süreyi ve yakıt planlamasını etkilemektedir. Dolayısı ile uçuş planını hazırlama sürecinde bu bilginin kaptan ve uçuş harekât uzmanlarına ulaştırılması için havacılık meteoroloji raporlarında yer alması gerekmektedir (Gultepe, 2023; FAA, Section 1-Meteorology, N.D).

Kar yağışı aynı zamanda pist yüzeyini iniş ve kalkış uçakları açısından durması ve hareket etmesi için kaygan hale getirebilmektedir. Bu durumda pistin temizlenmesi gerekebilmektedir. Bu koşullarda pistin operasyon açısından durumunu belirtmek için havacılıkta kullanılan frenleme katsayısının belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısı ile meteoroloji raporlarında bu bilginin yayınlanması uçuş planını hazırlarken kritik önemdedir (Gultepe, 2023; FAA, Section 1. Meteorology, N.D).

#### 1.2.2 Havacılık Meteoroloji Raporları

Hava durumunun uçağın uçuşuna etkilerini analiz edebilmek için yukarıda bahsedilen hadiselerin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ICAO üye ülkelere havacılık faaliyetlerinin emniyetli ve verimli bir şekilde yürütülmesi amacıyla uçağın uçuş yetkinliklerini etkileyebilecek hadiselerin yayınlanmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu raporlar genel olarak aşağıdaki gibidir (FAA, Section 1. Meteorology, N.D; Hazerfen, 2009).

METAR; Havacılık faaliyetlerini etkileyen havaalanında ve çevresinde gözlemlenen meteoroloji hadiselerinin yayınlandığı raporlardır. Yarım saatte bir veya saatte bir yayınlanmaktadır. İniş sürecindeki ve kalkış

sürecindeki seferler için mevcut hava koşulları hususunda bildirim yapılması amaçlanmaktadır (Goodman and Griswold,2019; Koçyiğit, 2025).

SPECI; Metar raporunda belirli kıstaslarda beklenmeyen değişiklikler olduğunda bir sonraki metar raporu beklenmeden paydaşları bilgilendirmek amacıyla yayınlanan raporlardır (Hazerfen, 2009).

TAF; Uçuş operasyon iniş sürecindeki meteorolojik hadiseler hususunda tahmin raporlarına gereksinim duymaktadır. Bu tahmin raporları özellikle gelecekte gerçekleşecek iniş süreci için kritik önemdedir. TAF raporları bir meydana ve çevresinde olması muhtemel meteorolojik olayları bildiren tahmin raporlarıdır (Gultepe et al., 2019; Koçyiğit, 2025).

SIGMET; Düz uçuştaki ticari uçaklara uçuş emniyeti için rotaları boyunca karşılaşılabilecekleri meteorolojik oluşumları bildiren raporlardır (FAA, Section 1. Meteorology, N.D; Hazerfen, 2009).

AIRMET; Airmet, sigmet ile aynı amaçlar doğrultusunda yayınlanmaktadır. Fakat airmet alçak seviye uçuşlar için yayınlanmaktadır (FAA, Section 1. Meteorology, N.D; Hazerfen, 2009).

PIREP; pilot bildirimlerinin yer aldığı kaptanların uçuşta karşılaştığı gerçek meteorolojik koşulları ilettiği raporlardır (FAA, Section 1. Meteorology, N.D; Hazerfen, 2009).

SIGNIFICANT CHART; Belirli bir periyod ve belirli bir bölge için belirli seviyelerde havacılık faaliyetlerinde önemli olan hava olaylarını gösteren haritalardır.

WIND CHART; Yüksek seviyelerde rota planlamasında yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla rüzgarların yönü, şiddeti uçuş planlaması açısından önem arz etmektedir. Bu raporlar her ikisini birden gösteren meteorolojik haritalardır (Hazerfen, 2009).

### 1.3. Uçak Arızaları

Uçakların emniyetli bir uçuş gerçekleştirmesi için asgari bir ekipmana gereksinim duyulmaktadır. Bu asgari ekipman listesinin yer aldığı dokümana MEL (minimum equipment list) denmektedir (ICAO,2014). Herhangi bir arıza olduğunda bu arıza giderilmeden uçuşun gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği kararı MEL dokümanı kontrol ederek verilmektedir. Eğer gerçekleştirilebiliyorsa varsa özel koşulların gerekliliği ve içeriği yine bu dokümanda bulunmaktadır (ICAO, 2017; Obadimu et al., 2020).

CDL: Konfigürasyon sapma listesi (CDL: Configuration Deviation List) uçakta bulunan harici parçaları tanımlayan ve gerektiğinde operasyonel

sınırlamalar ve performans düzeltmeleri hakkında bilgi içeren dokümanlardır (ICAO, 2014). Uçuş planlaması açısından bu sınırlamaların ve performans düzeltmelerinin plana yansıtılması bu dokümanın kontrolünü gerektirir.

#### 1.4 Uçuş Planlarında Yer Alan Bilgiler

Uçuş planı, genel olarak bu üç faktör analiz edilerek uçuş harekât uzmanları tarafından oluşturulmaktadır. Oluşturulan uçuş planları aşağıdaki bilgileri içermektedir (Rosenow et al., 2021; Researchgate, 2021);

- Uçak kimliği: Her uçağın ulusal havacılık kayıtlarına göre bir ismi mevcuttur. Uçuş planında bu isim yer almaktadır.
- Uçuş kuralları ve uçuş türü: İki tip uçuş kuralı mevcuttur; görerek ve aletli uçuş. Hangi kurala göre uçuşun gerçekleştirildiği uçuş planında yer almaktadır. Ayrıca uçuşun tarifeli, tarifesiz, charter gibi türü de yer almaktadır.
- Uçak tipi ve türbülans kategorisi: Üretici firma tarafında uçaklara bir tip ismi verilmektedir. Ayrıca bu uçak tiplerinin belirlenen türbülans kategorisi mevcuttur. Bu iki bilgi uçuş planında gösterilmektedir.
- Ekipman: Uçakta bulunan seyrüsefer ve iletişim ekipmanlarının kodları ayrı ayrı uçuş planında belirtilmektedir.
- Kalkılacak havalimanı.
- Tahmini blok süre: Uçağın park yerinden ayrılıp varış havaalanında park yerine ulaşana kadar geçecek tahmini süre iletilmektedir.
- Seyir hızı.
- Seyir seviyesi.
- İzlenecek rota.
- Varış meydanı ve düz uçuş süresi.
- Alternatif meydan: Uçuşlar planlanırken uçağın hava durumu, uçak arızaları, hasta yolcu gibi nedenlerle varış meydanına inememesi durumu göz önünde bulundurularak yedek meydan veya duruma göre yedek meydanlar uçuş planlarında belirtilmektedir.
- Yakıt miktarının tahmini uçuş süresi: Her uçuş için kuralların gerektirdiği minimum yakıt miktarının nasıl hesaplanacağı belirtilmiştir. Bu yakıt miktarı sadece uçuş sürecini değil taksi süresini, yedek meydana gidiş süresini, beklenmeyen durum yakıtını ve yedek meydana giderse orada belirli süre havada bekleyebileceği

yakıt miktarını içermektedir. Bu yakıt miktarı toplam yakıt miktarı olarak belirtilir ve bu miktarın uçağın havada ne kadar süre kalmasını sağlayacağı bilgisi uçuş planlarında yer almaktadır.

- Uçuştaki yolcu ve ekip sayısı.
- Acil durum ve hayatta kalma ekipmanı.
- Diğer bilgiler.

## 2. Uçuş Planının Hazırlanmasında Yapay Zekâ Uygulamaları

### 2.1 Yapay Zekâ Kavramına Genel Bakış

Yapay zekâ çok eski zamanlara dayandırılabilir de gerçek gelişimini asıl gelişimini 1950 ve sonrasında gerçekleştirdiği belirtilebilir. 1950 yılında Turing çalışmasında makineler düşünebilir mi cümlesi ile yapay zekanın öncüsü kabul edilse de yapay zekâ ifadesini 1956 yılında ilk kez McCarthy ortaya atmıştır (Golec et al., 2025; Grzybowski et al., 2024). Günümüzde yapay zekâ uygulamaları birçok alanda kendisine kullanım alanı bulmuştur.

Yapay zekâ (AI), insana ait bazı özellikleri kullanarak, bilgisayar sistemi ve algoritma oluşturma bilimi şeklinde tanımlanabilir. İnsana ait kullanılan özelliklere öğrenme, problem çözme, karar verme gibi fonksiyonlar örnek olarak verilebilmektedir (Golec et al., 2025; Grzybowski et al., 2024). İnsan herhangi bir alanda çalışmaya başladığında yaşadığı deneyimler sonucunda her gün yeni şeyler öğrenir. Tecrübesi arttıkça ilgili alanda bilgisi ve yetkinlikleri de artmaktadır ve kişiden kişiye değişen zamanlarda ilgili alanda uzman bir birey olunabilmektedir. Makinelerde tecrübe ile öğrenmenin karşılığı daha fazla veri kümesinin analiz edilmesi şeklinde özetlenebilir. İstatiksel yöntemlerle başlangıçta üretilen sonuç tahmin boyutundayken veri sayısı arttıkça istatistiki tahminin doğruluk oranı arttığından bilme boyutuna ulaşmaktadır. Bu nedenle yapay zeka uygulamaları için veri sayısı kritik önemdedir.

Yapay zekâ, genel olarak makine öğrenimi algoritmaları, derin öğrenme gibi istatistiksel ve matematik yaklaşımlar ile problemleri çözmekte kullanılmaktadır. Makine öğrenimi, geçmişteki büyük veri setlerini istatistiksel yaklaşımlarla analiz ederek ileride olabilecek sonuçlar ile ilgili tahmin yapılmasını sağlayan yapay zekâ alt kümesidir.

Derin öğrenme makine öğreniminin bir alt koludur. Derin öğrenme insan beynindeki sinir ağları arasındaki bağlantıyı örnek alan çok katmanlı bir tür makine öğrenimidir. Burada ilk katmandaki sinir ağlarının girdilere göre ürettikleri çıktılar bir sonraki katmandaki sinir ağlarının girdisi olmaktadır. Bu

örüntü ile insan sinir ağları öğrenme ve görevleri yerine getirme hususunda taklit edilmektedir.

## 2.2 Uçuş Planlamasında Yapay Zekâ Uygulamaları

Uçuş planı hazırlarken uçuş harekât uzmanlarının bazı faktörleri kontrol etmesi sonucunda çıktı olarak uçuş planında yer alan bilgilere karar verilmektedir (Tafur et al., 2025); hava durumu bu faktörlerden biridir. Havacılık operasyonları için hazırlanan hava durumu raporları kontrol edilerek kalkış yapılacak pist, iniş yapılacak pist gibi kararlar verilmektedir. Hava durumu raporu mevcut koşulların raporlandığı ve gelecekteki koşulların tahmin edildiği iki durumu içermektedir (Flores et al., 2024; Tafur et al., 2025). En fazla gecikme ve divert nedeni olan meteoroloji raporlarındaki öngörülerin AI uygulamaları ile tutarlılığının artırılması uçuşların emniyetli bir şekilde icra edilmesini sağladığı gibi daha verimli ve sürdürülebilir uçuş operasyonlarının yapılmasına da katkı sağlamaktadır (IATA, 2024). Makine Öğrenimi algoritmaları ile geçmiş meteoroloji raporlarını kullanarak öngörülerin doğruluk oranını artırma hususunda çalışmalar ve uygulamalar mevcuttur. Örneğin, NWS (Amerika'nın ulusal meteoroloji servisi-National Weather Service) tarafından kullanılan AI uygulamasının meteoroloji raporlarının tahmin doğruluk oranını yüzde 10 artırdığını göstermiştir (Tafur et al., 2025).

AI hava durumu raporlarını ve ulusal havacılık otoritelerinin getirdiği kural ve prosedürleri analiz ederek en uygun uçuş rotasını seçip yakıt maliyetini optimize etmeyi ve sefer süresini azaltmayı ve bunların sonucu olarak genel operasyonel optimizasyonu sağlamayı amaçlamaktadır. Hava sahası kapasitesi, kalkış saati, ekip mesaipleri ve uçağın bir sonraki seferi gibi faktörler bu kararların verilmesinde kritik önemdedir (Rosenow et al., 2021).

Uçuş harekât uzmanları uçuş planı hazırlarken hava durumu ve bildirimleri (AIP, Notam) takip ederek optimum rota içeren dokümanı hazırlamaktadırlar. Fakat planlama dinamik bir süreçtir. Sefer tamamlanana kadar aynı zamanda şartların değişmesi durumunu takip ederek gerektiğinde planı değiştirip uçağa göndermektedirler. Mevcut teknolojiler ile havadaki uçağa uçuş planı gönderilebildiğinden gerektiğinde yeni plan hazırlanıp sefer kaptanlarına iletelebilmektedir. İleride büyüyen hava trafiğini yönetebilmek için uçuş planlama programlarının, sefer öncesi planı hazırladıktan sonra uçuş boyunca seferin izlenmesi (monitör etmek) ile oluşabilecek değişiklikleri entegre eden proaktif bir nitelikte olması gerekmektedir. AI uygulamaları bu dönüşümü sağlayabilecek yeterlilikte görünmektedir (IATA, 2024).

Aşağıda AI tabanlı uçuş planı hazırlamak amacıyla yapılan bazı çalışmalara ve sektörde AI tabanlı uçuş planı uygulamalarına yer verilmiştir.

### 2.3 AI tabanlı uçuş planlama modelleri ile ilgili çalışma örnekleri

Kalyan vd., çalışmalarında tekrarlı plan sayısını azaltmak için geçmiş dönem uçuş plan dokümanlarındaki verilerden yararlanmak amacıyla Grafik Sinir Ağları (GNN) tabanlı bir sınıflandırıcı metodunu kullanmışlardır. Uçuş planlama sayısı GNN modelinin Monte Carlo Ağacı Arama (MCTS) algoritmasına sağladığı ödül ile tatmin edici bir uçuş planı oluşturulana kadar birkaç yinleme boyunca otomatik olarak tekrarlanır. Çalışma sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlar çıkarılmıştır (Kalyan et al., 2025);

- Uçuş planlama sürecindeki bilgisayar performans tıkanıklığının azaltılması
- Tekrarlanan plan sayısının azalması sonucu artan kapasite

Resenow vd., etkinliği ve sürdürülebilirliği optimum seviyeye çıkarmak amacıyla yapay zekâ (AI), çok amaçlı optimizasyon ve paydaş iş birliğine dayalı karar alma (collaborative decision making) modellerini entegre ederek bu modellerle optimum rotayı belirleme, yakıt tasarrufu sağlama, uçuş süresini azaltma ve genel operasyonel etkinliği artırma gibi boyutları araştırmışlardır. Çalışma, uçuş sahası limiti, kalkış saati, zaman pencereleri ve rota bağlantısı gibi kısıtlamaları analiz ederek ikili karar değişkenleri temelli bir matematiksel formülasyon modeli ortaya çıkarmıştır. Oluşturulan model rota tercihi için optimizasyon algoritmalarını içermektedir. Sonuçlar, yakıt tüketiminin azaltılması, uçuş süresinin iyileştirilmesi, hava sahası kapasitesinin verimli kullanımı ve mantıksal rota bağlantısı gibi yeni nesil uçuş rotasının potansiyel faydalarını ortaya koymaktadır (Rosenow, J. et al., 2021).

Noorizi vd., bulanık mantığı yöntemini (fuzzy-logic), makine öğrenimini ve SHapley Ekllemeli Açıklamalar (SHAP-SHapley Additive exPlanations) analizini entegre eden yapay zekâ (FEXAI) çerçevesi önermişlerdir. Çalışmada ADS-B kullanılarak toplanan veriler kullanılmıştır. Bu veriler on bir uçuş operasyon ve on sekiz meteorolojik hadiselerde oluşan yirmi dokuz özellik içermektedir. Çalışmada, makine öğrenimi modelleri ve SHAP, uçuşların sürekli alçalma operasyonlarına (CDO) uyum seviyelerini sınıflandırmak ve özellikleri önem sırasına göre listelemek için uygulanmıştır. SHAP modelinin verdiği puanlara göre en etkili üç özellik, yorumlanabilir bulanık kuralların belirlenmesini sağlayan bulanık kural tabanlı bir sınıflandırıcı oluşturmak için kullanılmıştır. Tüm modeller %90'ın üzerinde sınıflandırma doğruluğu elde etmiş ve FEXAI, operasyonel kullanıcılar için anlamlı, insan tarafından okunabilir kurallar sağlamıştır. Sonuçlar, yaklaşma paterninde ortalama

iniş hızının, iniş segmentlerinin sayısının ve iniş sırasında istikametdeki ortalama değişimin, CDO performansının en güçlü belirleyicileri olduğunu göstermiştir (Noroozi A. et al., 2025).

## **2.4 AI tabanlı uçuş planlama sistemlerini kullanan havayolları örnekleri**

### **2.4.1 Alaska Havayolları**

Alaska havayolları 1921 yılında yapay zekâ tabanlı bir uçuş planlama sistemini kullanmaya başladı; Flyaways AI. Küçük bir yazılım firması olan Airspace Intelligence (ASI) tarafından geliştirilen programı ilk kullanan Alaska havayolları oldu. Hava durumu, rotalar, trafik yoğunluğu, uçuş süresi optimizasyonu gibi değişkenler sebebiyle uçuş harekât uzmanları için uçuşun planlanması karmaşık bir süreçtir. ASI'nin Flyways AI Platformu, meteoroloji modelleri, rüzgarlar, türbülans, notam kısıtlamaları ve hava trafik yoğunluğu gibi faktörlerin büyük ölçekli datalarını analiz etmek amacıyla ileri seviye algoritmalar ve makine öğrenimi kullanmaktadır (Fortune, 2021; Alaska, 2024).

Flyaway AI hava durumu raporlarını, hava sahası trafik datalarını analiz ederek 8 saat önceden 4 boyutlu haritalar oluşturarak uçuş harekât uzmanlarına optimum rota önerilerinde bulunmaktadırlar. Sistemin kullanılmaya başlandığı ilk dönemlerde Flyaway AI ortalama uçuşların yüzde 64'üne rota seçenekleri sunmuş yaklaşık bunların yüzde 21'inde bu rotalar planlamada kullanılmıştır. 2021-2023 arasında Flyaway AI tarafından önerilen rotaların uçuşların yüzde 55'inde planlamada kullanılmıştır. Başlangıçta yakıt tüketimi ortalama 480.000 galon azalmış ve karbon salınımı 4600 ton azalmıştır. 2023 yılına gelindiğinde ortalama yüzde 3-5 oranında yakıt tasarrufu sağlandığı bildirilmektedir. Bu girişimler yakın hedefi Amerika'nın ortalama en az yakıt tüketen havayolu olma ve stratejik hedefi 2040 senesinde sıfır emisyon olan hedeflerine ulaşmak için yapılan hamleler olarak gösterilebilir (TNMT, 2025; Alaska, 2024).

Flyways AI sistemi birbirine bağlı farklı makine öğrenimi algoritmalarıyla ile havadaki uçakların olası konumunu ve bu uçakların hava trafik yoğunluğuna etkisini hesaplayıp meteorolojik durumu öngörerek çok hızlı bir şekilde alternatif rotalar teklif edebilmektedir (Alaska, 2024).

Alaska havayolları bu konuda öncü olsa da sağlanan iyileştirmelerden dolayı uçuş planlama sistemlerinde AI kullanan başka havayolları da olacak gibi görünmektedir. Havayollarının, AI tabanlı uçuş plan kullanımının



artması, karbon salınımını azaltabilir ve sefer gecikmelerinde düşüşü sağlayabilir.

### 2.4.2 WIZZ Air

2025 Mart ayından beri WIZZ Air StorkJet'in AI destekli FlyGuide rota optimizasyon programını kullanmaktadır. Hava yolunun uçuş ekibi hem uçak performans modellerini hem de gerçek uçuş verilerini analiz eden yapay zekâ destekli bir sistem olan uçuş rota optimizasyonu (FPO) yazılımını kullanmaktadır. Bu program, gerçek zamanlı verileri analiz ederek seferin bütün süreçleri için hız ve irtifa ve rota seçenekleri belirleyerek uçuş ekibine iletmektedir. Wizz Air'in 10.000'den fazla uçuşu kapsayan denemeleri, sektör başına %0,5 ile %1 arasında yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> azaltımı olduğunu göstermektedir. Bu sonuçların havayolunun 2050 hedefi olan sıfır emisyon hedefi ile uyumludur (AVSN, 2025; Aviation Business News,2025).

2025 Ağustos ayından itibaren Wizz Air uçuşlarında güncel meteoroloji raporları sağlayan AI-tabanlı AVTECH sistemini kullanmaktadır. Bu uygulama geleneksel genel meteoroloji bilgisi verisi ile uçuşu gerçekleştirmek yerine rotaya uygun hava durumu analizleri sunmaktadır. Pilotlar rüzgâr hız ve yönü, türbülans şiddeti ve seviyesi, buzlanma şiddeti, tropical siklonlar ve volkanik kül gibi hadiseler ile ilgili gerçek zamanlı veriler almaktadır. Bu bilgilere ilave olarak konum, seviye ve uçuş süresinin yer aldığı dört boyutlu rota görselleştirmesi ile uçuş ekibinin optimum rota seçmesini mümkün kılmaktadır (WIZZ Air, 2025; AVSN, 2025).

Wizz air, StorkJet'in FPO'sunu ve AVTECH'in hava durumu araçlarını entegre kullanılmasıyla, uçuş ekibine optimum kararlar almasında yardımcı olarak hem verimliliği hem de yolcu konforunu artırma olanakları sunmaktadır. Wizz Air, en son uçuş planlama ve hava durumu tahmin araçlarını bir araya getirerek daha güvenli, daha verimli ve daha konforlu uçuşlar sağlamaktadır (WIZZ Air, 2025).

## 2.5 Sonuç ve Tartışma

Günümüzde yapay zekâ uygulamaları zekâ alanda kendisine kullanım alanı bulmuştur. Yapay zekâ uygulamalarının süreçlerini etkilemediği sektör yok gibidir. Havacılık sektörü de yapay zekâ uygulamalarından etkilenmektedir. Bir havayolu süreci olan uçuş planlama da yapay zekanın kullanıldığı alanlardan biridir. Bu çalışmada uçuş planlama sürecinde yapay zekâ uygulama gelişmelerini literatürden araştırılarak ortaya konmaktadır.

Literatürde AI tabanlı uçuş planı ile ilgili hava durumu tahminlerinin tutarlılığının arttırarak divertlerin ve gecikmelerin azaltılıp yakıt tasarrufu

sağlama ve verimliliği artırma üzerine çalışmalar hem planlama aşamasında hem de uçuşta rota optimizasyonu ile ilgili çalışmalar; hem de uçuşun alçalmasında yakıt tüketiminin azaltılması ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. AI tabanlı uçuş planlama alanını literatürde ileride geniş çalışma alanı bulacağı görünmektedir.

Alaska havayolları meteoroloji modelleri, rüzgarlar, türbülans, notam kısıtlamaları ve hava trafik yoğunluğu gibi faktörlerin büyük ölçekli dataalarını analiz eden, ileri seviye algoritmalar ve makine öğrenimi kullanan yapay zekâ tabanlı bir uçuş planlama sistemi Kullanmaktadır. Alaska havayolları AI tabanlı uçuş planı kullanmaya başladıktan sonra hem yakıt tüketiminde hem karbon salınımında hem de operasyon verimliliğinde avantajlar sağlamıştır.

WIZZ Air'in uçuş ekibi hem uçak performans modellerini hem de gerçek uçuş verilerini analiz eden yapay zekâ destekli uçuş rota optimizasyonu yazılımını kullanmaktadır. Ayrıca Wizz Air uçuş ekibine uçuş sürecinde güncel meteoroloji raporları sağlayan AI-tabanlı bir sistem kullanmaktadır. Bu iki sistemin entegre kullanılması uçuş ekibinin optimum kararlar almasını sağlayarak yakıt tasarrufu, karbon salınımı azalması ve verimlilik hususlarında avantajlar sağlamıştır.

Hem literatürdeki çalışmalar hem sektörde AI tabanlı uçuş planlama programı kullanımının getirdiği kazanımlar hem de büyüyen hava trafiğini yönetebilmek için uçuş planlama sistemlerinin hızlanması gereksinimi uçuş planlamada AI kullanan havayolları sayısının artacağı görünmektedir.

## Kaynakça

- Abbas, Innocent. (2012). The Impacts of Extreme Weather And Climate Events on Aviation, Environment, Ecology & Management, vol. 1, 12-20
- Alaska/Hawaiian, (2024). How AI is helping Alaska Airlines plan better flight routes and lower emissions, Ulaşılabilir URL: <https://news.alaska-air.com/sustainability/how-ai-is-helping-alaska-airlines-plan-better-flight-routes-and-lower-emissions/>, Erişim Tarihi: 05.10.2025.
- Aviation Business News, (2025). Wizz implements StorkJet and Avtech flight systems, Ulaşılabilir URL: <https://www.aviationbusinessnews.com/industry-news/wizz-implements-storkjet-and-avtech-flight-systems/>, Erişim Tarihi: 08.11.2025.
- AVSN, (2024). Wizz Air Introduces AI-Driven Flight Path Optimisation Technology, Ulaşılabilir URL: <https://aviationsourcenews.com/wizz-air-introduces-ai-driven-flight-path-optimisation-technology/#a-first-for-low-cost-airlines>, Erişim Tarihi: 05.11.2025.
- Boing, (2018). ATC filing strip decode ATS messages, Ulaşılabilir URL: <https://support.boeing.com/s/article/ATC-filing-strip-decode-ATS-messages>, Erişim Tarihi: 05.10.2025.
- Borsky S. and Unterberger, C., (2019). Bad weather and flight delays: The impact of sudden and slow onset weather events, Economics of Transportation, Vol. 18, P.10-26, <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.02.002>.
- Eurocontrol, (2019). Ifps User Manuel, Ulaşılabilir URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/ifps-users-manual-current.pdf>, Erişim Tarihi: 03.10.2025.
- FAA, (N.D). Chapter 12 Weather Theory, Ulaşılabilir URL: [https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/14\\_phak\\_ch12.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/14_phak_ch12.pdf), Erişim Tarihi: 16.10.2025.
- FAA, (N.D). Section 1. Meteorology, Ulaşılabilir URL: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/publications/atpubs/aim\\_html/chap7\\_section\\_1.html](https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html/chap7_section_1.html), 17.10.2025.
- FAA, (2012). FAA ICAO Flight Planning Interface Reference Guide, Ulaşılabilir URL: [https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/FAA\\_ICAO\\_flight\\_planning\\_interface\\_ref\\_guide.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/about/office_org/headquarters_offices/ato/FAA_ICAO_flight_planning_interface_ref_guide.pdf), Erişim Tarihi: 20.10.2025.
- Flores, A. D. C. et al., (2024). Climate Change and the Impact of Extreme Temperatures on Aviation. Weather, Climate, and Society, Intelligent Human Systems Integration, Vol. 119, 2024, 421–428, <https://doi.org/10.54941/ahfe1004506>.

- Fortune, (2021). Alaska Airlines pioneers A.I. to plan flight routes, saving fuel and time, Ulaşılabilir URL: <https://fortune.com/2021/07/27/alaska-airlines-ai-flight-dispatch-airspace-intelligence/>, Erişim Tarihi: 20.10.2025.
- Golec, M. et al., (2025). Artificial Intelligence (AI): Foundations, trends and future directions, Telematics and Informatics Reports, Vol. 20, 100265, <https://doi.org/10.1016/j.teler.2025.100265>.
- Goodman, C. J., and J. D. Small Griswold, 2019: Meteorological Impacts on Commercial Aviation Delays and Cancellations in the Continental United States. J. Appl. Meteor. Climatol., 58, 479–494, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0277.1>.
- Gultepe, I., Feltz, W.F. Aviation Meteorology: Observations and Models. Introduction. Pure Appl. Geophys. 176, 1863–1867 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02188-2>.
- Gultepe, Ismail. (2023). A Review on Weather Impact on Aviation Operations: Visibility, Wind, Precipitation, Icing. Journal of Airline Operations and Aviation Management. 2. 1-44. DOI:10.56801/jaoam.v2i1.1.
- Hazerfen, (2009). Havacılık Meteorolojisi İle İlgili Tanımlar, Ulaşılabilir URL: [https://hezarfen.mgm.gov.tr/Genel/Btanim.aspx#:~:text=Hezarfen&text=METEOROL OJ%C4%B0%20%3A%20Atmosferde%20meydana%20gelen%20hava,%2C%20Buzl anma%2C%20Sis%20vs.\),](https://hezarfen.mgm.gov.tr/Genel/Btanim.aspx#:~:text=Hezarfen&text=METEOROL OJ%C4%B0%20%3A%20Atmosferde%20meydana%20gelen%20hava,%2C%20Buzl anma%2C%20Sis%20vs.),) Erişim Tarihi: 17.10.2025.
- ICAO, (2004). Rules of The Air, Annex 2- Rules of The Air -Chapter 3.3 General Rules-Flight Plan.
- ICAO, (2018). Aeronautical Information Services, Annex 15-Chapter 3 Aeronautical Information Management.
- ICAO, (2088). Meteorological Service for International Air Navigation. Annex 3-Chapter 3 Global Systems, Supporting Centers and Meteorological Offices.
- ICAO, (2001). Air Traffic Services, Annex 11- Chapter 1 Definition- Notam.
- ICAO, (2014). Air Operator Certification and Surveillance Handbook, Volume 2, Chapter 3- Approval of minimum equipment list (MEL) and configuration deviation list (CDL).
- IATA, (2024). Flight Planning in the Digital Age, Ulaşılabilir URL: [https://www.iata.org/contentassets/1be2bec28b3d45f9ae7780d6e7be9/whitpaper--flight-planning-in-the-digital-age\\_final-version.pdf](https://www.iata.org/contentassets/1be2bec28b3d45f9ae7780d6e7be9/whitpaper--flight-planning-in-the-digital-age_final-version.pdf), Erişim Tarihi: 17.10.2025.
- IFR, (N.D). ICAO FLIGHT PLAN, Ulaşılabilir URL: <https://ifr-magazine.com/system/icao-flight-plan-again/>, Erişim Tarihi: 17.10.2025.
- Kalyan V. et al., (2025). AI-assisted flight plan generation and verification, Artificial Intelligence and Machine Learning for Multi-Doma-

- in Operations Applications VII; Proceedings Vol. 13473, <https://doi.org/10.1117/12.3056020>.
- Koçyiğit, F. (2025). The Effect of Meteorological Data on Energy Efficiency and Flight Performance in Sustainable Aviation. *Journal of Aviation*, 9(2), 295-302. <https://doi.org/10.30518/jav.1656416>.
- Kwasiborska et al., (2023). The Influence of Visibility on the Opportunity to Perform Flight Operations with Various Categories of the Instrument Landing System. *Sensors*, 23(18), 7953. <https://doi.org/10.3390/s23187953>.
- Montazeri, A., Montazeri, E. (2026). NOTAM to AIP Publications and Trigger-NOTAM. In: *Handbook NOTAM, SNOWTAM, GRF, RCC*. Springer, Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-47434-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-658-47434-8_7).
- Miruna Maria Morăraşu, Cătălin Horaţiu Roman, (2025). "Transforming Notams to Digital Notams: an Ai-Powered Approach to Enhance Aeronautical Information Management", 2025 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), pp.1-6, DOI: 10.1109/ICNS60906.2024.10550725.
- Noroozi A. et al., (2025). A Fuzzy-Enhanced Explainable AI Framework for Flight Continuous Descent Operations Classification, computer science, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.14618>.
- Obadimu, S. O. et al., (2020). Development of the Minimum Equipment List: Current Practice and the Need for Standardisation. *Aerospace*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.3390/aerospace7010007>.
- Ostroumov, I. (2024). Statistical Analysis of Airplane Pressure Altitude Datasets. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1008, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_1).
- Researchgate, (2021). flight planning, Ulaşılabilir URL: [https://www.researchgate.net/publication/350323961\\_Flight\\_planning](https://www.researchgate.net/publication/350323961_Flight_planning), 17.10.2025.
- Researchgate, (2023). Comparison Analysis Of Fuel On Manual And Systematic Flight Plan On Citilink Airlines On The Jakarta-Surabaya Route Using Airbus A320 Aircraft, Ulaşılabilir.URL: [https://www.researchgate.net/publication/377227409\\_Comparison\\_Analysis\\_Of\\_Fuel\\_On\\_Manual\\_And\\_Systematic\\_Flight\\_Plan\\_On\\_Citilink\\_Airlines\\_On\\_The\\_Jakarta-Surabaya\\_Route\\_Using\\_Airbus\\_A320\\_Aircraft](https://www.researchgate.net/publication/377227409_Comparison_Analysis_Of_Fuel_On_Manual_And_Systematic_Flight_Plan_On_Citilink_Airlines_On_The_Jakarta-Surabaya_Route_Using_Airbus_A320_Aircraft), Erişim Tarihi: 20.10.2025.
- Rosenow, J. et al., (2021). Advanced Flight Planning and the Benefit of In-Flight Aircraft Trajectory Optimization. *Sustainability*, 13(3), 1383. <https://doi.org/10.3390/su13031383>

- Safronov, A. N. (2019). Aviation Meteorology at Several Plane Crash Sites. *Atmosphere*, 10(2), 50. <https://doi.org/10.3390/atmos10020050>
- SHGM, (N.D). Havacılık Bilgi Ürünleri, Ulaşılabilir URL: <https://dhmi.gov.tr/Sayfalar/Ssd/HavacilikBilgiY%C3%B6netimiSbMd/AIPTurkey-Hakkinda.aspx>, Erişim Tarihi: 03.10.2025.
- Simorgh, Abolfazl et al., (2024). Concept of robust climate-friendly flight planning under multiple climate impact estimates, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 131, 104215, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104215>.
- SKYbrary, (N.D). Flight plan, Ulaşılabilir URL: <https://skybrary.aero/articles/flight-plan>, Erişim Tarihi: 03.10.2025.
- SKYbrary, (N.D). Flight Plan Completion, Ulaşılabilir URL: <https://skybrary.aero/articles/flight-plan-completion>, Erişim Tarihi: 03.10.2025
- SKYbrary, (N.D). Notam, Ulaşılabilir URL: <https://skybrary.aero/articles/notice-airmen-notam>, Erişim Tarihi: 15.10.2025.
- Škultéty, F. et al., (2021). Dangerous weather phenomena and their effect on en-route flight delays in Europe, *Transportation Research Procedia*, Volume 59, P. 174-182, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.109>.
- Tafur, C. L. et al., (2025). Applications of artificial intelligence in air operations: A systematic review, *Results in Engineering*, Vol. 25, 103742, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103742>.
- TNMT, (2025). Airlines and AI: Three strategies shaping aviation's future, Ulaşılabilir URL: <https://tnmt.com/airline-ai-strategies/#:~:text=In%202021%2C%20Alaska%20became%20the,dispatchers%20more%20accurate%20route%20options>, Erişim Tarihi: 15.10.2025.
- Uzun, Mevlut et al., (2019). "Deep Learning Techniques for Improving Estimations of Key Parameters for Efficient Flight Planning," 2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems.
- Wang, Ziming et al., (2025). A reliable predict-then-optimize approach for minimizing aircraft fuel consumption, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 142, 104693, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104693>.
- WIZZ Air, (2025). WIZZ Air Enables Next-Generation Tools In Flightdeck For Real Passenger Comfort, Ulaşılabilir URL: <https://www.wizzair.com/en-gb/information-and-services/about-us/news/wizz-air-enables-next-generation-tools-in-flightdeck-for-real-passenger-comfort>, Erişim Tarihi: 17.11.2025.
- World Meteorological Organization (WMO), (N.D). Aviation, Ulaşılabilir URL: <https://wmo.int/topics/aviation/#:~:text=Flight%20schedule>

dules%20%2D%20Adverse%20weather%20conditions,others%20can%20affect%20flight%20routes, Erişim Tarihi: 17.10.2025.



## Ek-1 ATC Flight Plan Codes

FPL = Filed Flight Plan

JEP123 = airline 3 letter identifier and flight number callsign for flight

IS = will be rules of flight and type of flight I = IFR S = scheduled

B763/H = type of aircraft and wake turbulence category – boeing 767-300 with heavy wake turbulence

-BDEFGHILORVWY/SB1 = equipment loaded on aircraft along with surveillance and pbn equipment

VVNB = departure aerodrome ie departure airfield

2040 = time of departure

The next block is the routing of the flight

When N0455F370 is used it is stating the initial cruise speed and altitude in this case a speed of 455knots and flight level 370 or 37000ft.

If you see K0843S1130 it is the same only metric rules apply. 843 kmh at an altitude of 11300 meters

NOTE: that Jeppesen only displays the metric system for Chinese airspace, everywhere else is standard imperial system of knots and feet

RKSI = arrival airport

0346 = total estimated elapsed time to arrive at arrival airport

RKSS = alternate airfield

PBN/A1B1CID1L1O1S1S2 = performance based navigation equipment

DOF = date of flight indicated as YYMMDD

REG = registration of aircraft

EET = Estimated elapse time of a fir boundary crossing

SEL= SELCAL set in aircraft database for the code designated by ATS authority

OPR = operator set in the aircraft database

RMK = Remarks can be set in the Flight brief database or modified when filing

E/ = fuel endurance on board

Beyond this is set in the aircraft database

P/ = passengers TBN is to be notified NOTE: TBD is not accepted TBN is the only approved use

R/ = Radio frequency

U if frequency 243.0 MHz (UHF) is available,

V if frequency 121.5 MHz (VHF) is available,

E if emergency locator transmitter (ELT) is available.

S/ = survival equipment

P = polar

D = desert

M = maritime

J = jungle

J/ = life jacket type

L = lighted

F = fluorescent

U = uhf

V = vhf

D/ = dinghies on board followed by how many souls fit on them and their color type

A/ = aircraft color

## Ek-2 Manuel Uçuş Planı

| FLIGHT PLAN<br>PLAN DE VOL                                                                                                                                        |  |                                                                |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------|--|
| PRIORITY<br>Priorité                                                                                                                                              |  | ADDRESSEE(S)<br>Destinataire(s)                                |  |
| FF                                                                                                                                                                |  |                                                                |  |
| FILING TIME<br>Heure de dépôt                                                                                                                                     |  | ORIGINATOR<br>Expéditeur                                       |  |
|                                                                                                                                                                   |  |                                                                |  |
| SPECIFIC IDENTIFICATION OF ADDRESSEE(S) AND/OR ORIGINATOR<br>(Identifications précises du(s) destinataire(s) et/ou de l'expéditeur)                               |  |                                                                |  |
| 3 MESSAGE TYPE<br>Type de message                                                                                                                                 |  | 7 AIRCRAFT IDENTIFICATION<br>Identification de l'aéronef       |  |
| (FPL)                                                                                                                                                             |  |                                                                |  |
| 8 FLIGHT RULES<br>Règles de vol                                                                                                                                   |  | 9 TYPE OF FLIGHT<br>Type de vol                                |  |
|                                                                                                                                                                   |  |                                                                |  |
| 10 DEPARTURE AERODROME<br>Aérodrome de départ                                                                                                                     |  | 11 TIME<br>Heure                                               |  |
|                                                                                                                                                                   |  |                                                                |  |
| 12 CRUISING SPEED<br>Vitesse croisière                                                                                                                            |  | 13 LEVEL<br>Niveau                                             |  |
|                                                                                                                                                                   |  |                                                                |  |
| 14 DESTINATION AERODROME<br>Aérodrome de destination                                                                                                              |  | 15 ROUTE<br>Route                                              |  |
|                                                                                                                                                                   |  |                                                                |  |
| 16 DESTINATION AERODROME<br>Aérodrome de destination                                                                                                              |  | 17 TOTAL FET<br>Durée totale en escale                         |  |
|                                                                                                                                                                   |  |                                                                |  |
| 18 OTHER INFORMATION<br>Renseignements divers                                                                                                                     |  | 19 ALTN AERODROME<br>Aérodrome en dépannage                    |  |
|                                                                                                                                                                   |  |                                                                |  |
|                                                                                                                                                                   |  | 20 2ND ALTN AERODROME<br>2 <sup>e</sup> aérodrome de dépannage |  |
|                                                                                                                                                                   |  |                                                                |  |
| SUPPLEMENTARY INFORMATION (NOT TO BE TRANSMITTED IN FPL MESSAGE)<br>Renseignements complémentaires (À NE PAS TRANSMETTRE DANS LES MESSAGES DE PLAN DE VOL DÉPOSÉ) |  |                                                                |  |
| 19 ENDURANCE<br>Autonomie                                                                                                                                         |  | 20 PERSONS ON BOARD<br>Personnes à bord                        |  |
| E / MIN                                                                                                                                                           |  | P /                                                            |  |
| SURVIVAL EQUIPMENT<br>Équipement de survie                                                                                                                        |  | EMERGENCY RADIO<br>Radio de secours                            |  |
| S / P                                                                                                                                                             |  | R / U                                                          |  |
| POLAR<br>Polaire                                                                                                                                                  |  | VME<br>V                                                       |  |
| DESERT<br>Désert                                                                                                                                                  |  | E<br>E                                                         |  |
| MARTIME<br>Maritime                                                                                                                                               |  |                                                                |  |
| JUNO<br>Juno                                                                                                                                                      |  |                                                                |  |
| J / L                                                                                                                                                             |  |                                                                |  |
| LIGHT<br>Lumière                                                                                                                                                  |  |                                                                |  |
| FLUORE<br>Fluores                                                                                                                                                 |  |                                                                |  |
| U<br>U                                                                                                                                                            |  |                                                                |  |
| V<br>V                                                                                                                                                            |  |                                                                |  |
| NUMBER<br>Nombre                                                                                                                                                  |  | CAPACITY<br>Capacité                                           |  |
| COVER<br>Couverture                                                                                                                                               |  | COLOUR<br>Couleur                                              |  |
| D / C                                                                                                                                                             |  |                                                                |  |
| AIRCRAFT COLOUR AND MARKING(S)<br>Couleur et marquage(s) de l'aéronef                                                                                             |  |                                                                |  |
| A                                                                                                                                                                 |  |                                                                |  |
| REMARKS<br>Remarques                                                                                                                                              |  |                                                                |  |
| N                                                                                                                                                                 |  |                                                                |  |
| PILOT-IN-COMMAND<br>Pilote commandant de bord                                                                                                                     |  |                                                                |  |
| C                                                                                                                                                                 |  |                                                                |  |
| FILED BY / DÉPOSÉ PAR                                                                                                                                             |  |                                                                |  |
| SPACE RESERVED FOR ADDITIONAL REQUIREMENTS<br>Espace réservé à des fins supplémentaires                                                                           |  |                                                                |  |

Ek-3 Operasyonel Uçuş Planı

COMPUTERIZED FLIGHT PLANNING

FLIGHT PLAN NO. 009708  
COMP 0219Z VALID U/I 0819Z  
CTV716 WIII TO WARR  
PK-GLS / CFM56-5B4 / CRZ CI014  
15 NOV 22 ETD 0455Z PROGS 141812Z IFR KGS

| FLT ID     | ORIG/DEST | ACFT | ROUTE | WIND/ISA | PERF FACTOR |
|------------|-----------|------|-------|----------|-------------|
| CTV716 /15 | WIII/WARR | A320 | R3    | M008/P14 | 0.0%        |

|           | FUEL   | TIME  | DIST     | NAM  | WEIGHT | -ACTUAL- | STRUCTURAL  |
|-----------|--------|-------|----------|------|--------|----------|-------------|
| TRIP FUEL | 003441 | 01.21 | 0469     | 0472 |        |          |             |
| ALT/WAAA  | 003212 | 01.17 | 0488     | BOW  | 042385 | .. . .   |             |
| FINAL RES | 001111 | 00.30 |          | EIC  | 000000 |          |             |
| CONT *    | 000193 | 00.05 |          | PYLD | 015700 |          |             |
| ADD       | 000000 | 00.00 | -ACTUAL- | ZFW  | 058085 | .. . .   | MZFW 061000 |
| REQUIRED  | 007957 | 03.13 | .. . .   | TOF  | 007957 |          |             |
| TANKERING | 000000 | 00.00 |          | TOGW | 066042 | .. . .   | MTOW 077000 |
| TOF       | 007957 | 03.13 |          | BURN | 003441 |          |             |
| TAXI      | 000253 | 00.22 |          | LDGW | 062601 |          | MLDW 064500 |
| BALLAST   | 000000 |       |          |      |        |          |             |
| BLOCK     | 008210 | 03.35 | .. . .   |      |        |          |             |

PPRM 004516 \* MAX 5 PCT BURN OR 5 MIN Hold @ 1500

|                |          |
|----------------|----------|
| BLOCK ON ..... | TDN..... |
| BLOCK OFF..... | A/B..... |
| FLT TIME ..... | AIR..... |

BURN ADJUSTMENT PER 1000 KGS - 37 KGS

ZFW INCR / 1000 .. . . X 37 KGS = .. . . BURN ADJ

ADJUSTED REQUIRED FUEL .. . .

FUEL BURN ADJUSTMENT BELOW PLANNED FLIGHT LEVEL:

|     |        |       |
|-----|--------|-------|
| FL  | BURN   | ETE   |
| 310 | 003464 | 01.21 |
| 290 | 003492 | 01.22 |

REMARKS:

NOT UNDER INFLUENCE

.....

.....

## Hava Trafik Kontrolünde Yapay Zeka Kullanımı 8

Nil Konyalılar<sup>1</sup>

### Özet

Hava trafik kontrolleri, modern havacılık endüstrisinin güvenlik, verimlilik ve koordinasyon açısından temel unsurlarından biridir. Geleneksel yöntemler, insan faktörüne dayalı karar alma süreçleriyle sınırlandırılmış olup, yoğunluk artışları ve karmaşık hava sahası operasyonları karşısında zaman zaman yetersizlikler gösterebilmektedir. Günümüzde teknolojik gelişmeler, özellikle yapay zekanın (YZ) getirdiği yenilikler, hava trafik yönetiminde devrim yaratmaya başlamıştır. Yapay zeka, büyük veri analitiği ve algoritmalar aracılığıyla, trafik akışını optimize etme, uçuş güvenliğini artırma ve operasyonel maliyetleri azaltma gibi kritik avantajlar sağlar. Bu bağlamda, YZ destekli sistemler, gerçek zamanlı karar verme süreçlerine entegre edilerek, uçuş planlamasından hava sahası yönetimine, iniş ve kalkış süreçlerinin düzenlenmesine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Ayrıca, bu teknolojiler sayesinde hava trafik kontrol merkezleri, anlık hava durumu ve diğer çevresel faktörleri dikkate alarak daha proaktif ve hassas yönetim sağlayabilmektedir. Yapay zeka kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, sistemler insana bağlı olmanın ötesine geçerek, yüksek doğrulukla tahminlerde bulunmakta ve otomasyon seviyesini artırmaktadır. Bu gelişmeler, hem güvenliğini artırmak hem de trafik sıkışıklığını azaltmak adına kritik rol oynamaktadır. Dolayısıyla, hava trafik kontrolünde yapay zeka uygulamaları, modern havacılıkta sürdürülebilir ve daha güvenli bir sektörün temel yapı taşlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

### 1. Giriş

Hava trafik kontrolünde yapay zeka kullanımı, hem operasyonel verimliliği artırmak hem de güvenliğini sağlamak amacıyla giderek yaygınlaşmaktadır. Geleneksel kontrol yöntemleri, insan faktörüne dayalı olması sebebiyle zaman zaman hata ve gecikmelere yol açabilmektedir. Yapay zeka sistemleri, büyük veri setlerini hızlı analiz ederek uçuş planlaması, hava sahası yönetimi ve uçak

1 nilkonyalilar@topkapi.edu.tr 0000-0002-7310-7779

takip gibi kritik alanlarda üstün performans gösterebilmektedir. Otomatik uçuş planlama uygulamaları, kalkış ve iniş sırasında zaman kazanmak ve rotaları optimize etmek adına gelişmiş algoritmalar kullanır. Aynı zamanda, hava durumu ve trafik yoğunluğu gibi değişkenleri dikkate alarak riskleri minimize eder. İniş ve kalkış süreçleri, yapay zekanın karar verme kabiliyeti sayesinde daha koordine hale gelir, böylece hatalar azaltılır ve uçuş güvenliği sağlanır. Hava sahası yönetiminde ise, yapay zeka tabanlı sistemler, hava trafik akışını gerçek zamanlı izler ve olası çakışmaları önceden tespit ederek uygun önlemleri önerir. Uçak takip sistemleri, gelişmiş sensörler ve veri analitiği ile destinasyonlara ulaşım süreçlerini hızlandırır. Bu teknolojik gelişmeler, insansız ve otonom uçuş sistemlerinin entegrasyonunu da kolaylaştırmakta olup, gelecekte havacılık sektöründe devrim niteliğinde değişikliklerin yaşanması beklenmektedir. Yapay zekanın sürekli gelişimi, hava trafik kontrolünde operasyonel riskleri azaltırken, aynı zamanda yeni risk alanları ve etik sorunlar da gündeme getirmektedir. Bu nedenle, sistemlerin güvenliği, veri gizliliği ve yasal düzenlemelerin uyumu gibi konular, bu teknolojilerin sürdürülebilir kullanımı açısından önem taşımaktadır. Kistan et al. (2020)

## 2. Yapay Zeka Nedir?

Yapay zeka, insana özgü zekâ fonksiyonlarının bilgisayarlar ve yazılım sistemleri tarafından taklit edilmesini sağlayan teknolojik bir alan olup, veri analizi, öğrenme, problem çözme ve karar verme yetenekleri içerir. Bu teknolojiler, geleneksel programlamanın ötesinde, makinelerin çok büyük veri setlerinden anlamlı bilgileri çıkararak örüntüleri tanımasını ve deneyimlerinden öğrenmesini mümkün kılar. Yapay zekanın temelini oluşturan algoritmalar, büyük veri üzerinde çalışarak karmaşık süreçleri otomatikleştirebilir ve optimize edebilir. Makine öğrenimi, yapay zekanın önemli bir dalı olup, sistemlerin deneyimlerden öğrenerek zamanla performanslarını geliştirmesini sağlar. Derin öğrenme ise çok katmanlı yapay sinir ağları kullanarak, görüntü, ses ve dil gibi karmaşık verilerde yüksek doğrulukla analiz ve sınıflandırma yapılmasını sağlar. Doğal dil işleme ise, bilgisayarların insan dilini anlaması ve anlamlı iletişim kurması amacıyla geliştirilmiş teknolojilerdir. Bu alanlarda yapılan gelişmeler, hava trafik kontrolü gibi kritik alanlarda operasyonların daha güvenli, hızlı ve verimli hale getirilmesini sağlamakta önemli rol oynar. Örneğin, yapay zeka algoritmaları sayesinde hava trafik akışını optimize etmek, potansiyel tehlikeleri önceden tespit etmek ve havalimanlarındaki karar alma süreçlerini desteklemek mümkün olmaktadır. Ayrıca, yapay zekanın adaptif ve öngörülü yapısı, döneme özgü karmaşık senaryoları anlayıp uygun çözümler üretme kabiliyetiyle hava trafik yönetiminin yeni standartlara ulaşmasına katkı

sağlar. Bu teknolojiler, sürekli gelişen yapısı ile, güvenlik ve verimlilik alanlarında sağlanan iyileştirmelerle havacılık sektöründe temel bir güç haline gelmektedir.

### 2.1. Hava Trafik Kontrolünün Önemi

Hava trafik kontrolü, modern havacılığın güvenliği, verimliliği ve düzeni açısından kritik bir öneme sahiptir. Uçuşların karmaşık ve yoğun olduğu hava sahasında, ince ayrıntılara dikkat ederek olası riskleri minimuma indirmek ve operasyonların sorunsuz ilerlemesini sağlamak zorunludur. Bu bağlamda, hava trafik kontrolünün önemi, sadece uçakların güvenli seyriyle sınırlı kalmaz; aynı zamanda zaman yönetimi, enerji tasarrufu ve ekonomik faydalar da sağlar. Geleneksel yöntemler, insan operatörlerin sınırlı kapasitesi nedeniyle zaman zaman yetersiz kalabilir. Özellikle yoğun hava trafiğinde, insan faktörüne bağlı hatalar artış gösterebilir ve bu durum olası kazalara sebep olabilir. Bu noktada, yapay zekanın katkıları devreye girer. Gelişmiş algoritmalar sayesinde anlık verilerin hızlı analizi yapılabilir, uçuşların planlanması ve yönetimi otomatik hale getirilebilir. Bu otomasyon, hata oranlarını azaltmak ve sorunlara daha erken müdahale edilmesini sağlamak açısından büyük avantaj sağlar. Yapay zeka sistemleri, uçuş akışını optimize ederek trafik yoğunluğunun dengelenmesine ve rotaların elverişli hale getirilmesine olanak tanır. Ayrıca, havalimanlarına iniş kalkış sırasında oluşabilecek gecikmeleri minimize ederek zaman ve yakıt tasarrufu sağlar. Yüksek doğruluklu ve sürekli gelişen algoritmalar, hava trafik kontrol görevlerini daha etkili hale getirir ve güvenliği artırır. Sonuç olarak, hava trafik kontrolünde yapay zekanın kullanımı, operasyonların güvenli, verimli ve esnek olmasını sağlayarak hava yolculuğunun sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır.

### 3. Mevcut Uygulamalar

Mevcut uygulamalar arasında en yaygın olanlarından biri otomatik uçuş planlama sistemleridir. Bu sistemler yapay zeka algoritmaları kullanarak, uçuşların rotalarını, kalkış ve iniş zamanlarını optimize eder. Böylece, hava trafiği yoğunluğu azaltılır ve yakıt tasarrufu sağlanır. Ayrıca, uçuş sırasında ortaya çıkabilecek gecikmeler veya hava durumu gibi faktörler değerlendirilerek en uygun planlama yapılır. İniş ve kalkış yönetimi alanında ise yapay zeka destekli otomasyon sistemleri, pilotların yükünü hafifletirken, uçakların iniş-kalkış sürelerini kısaltır ve güvenliği artırır. Bu sistemler, uçakların pistleri ve trafik yoğunluğu hakkında gerçek zamanlı verileri işleyerek, en uygun zamanlamayı belirler. Hava sahası yönetiminde kullanılan yapay zeka uygulamaları ise, hava sahasının etkin ve güvenli kullanımını



sağlar. Çok sayfalı hava sahası veri tabanları, yapay zeka algoritmalarıyla analiz edilerek, uçuş rotalarının optimize edilmesine ve çakışmaların önlenmesine olanak tanır. Bunların yanı sıra, uçak takip sistemlerinde de yapay zeka teknolojileri aktif biçimde kullanılmaktadır. Uçakların konumları, hızları ve rotaları sürekli izlenerek, gerçek zamanlı riskler tespit edilir ve müdahale edilebilir. Bu sistemler, hem kazaların önlenmesine hem de acil durumların daha hızlı yönetilmesine katkı sağlar. Tüm bu uygulamalar, havacılık sektöründe yapay zekanın entegrasyonu sayesinde hem operasyonel verimliliği artırmakta hem de güvenliği güçlendirmektedir. Günümüzdeki mevcut teknolojik çözümler, sürekli gelişen yapay zeka algoritmalarıyla desteklenmekte olup, havacılık alanında sürdürülebilir ve daha güvenli bir geleceğin temelini oluşturmaktadır.

### **3.1. Otomatik Uçuş Planlama**

Otomatik uçuş planlama sistemi, hava trafik yönetiminde yapay zekanın önemli bir uygulamasını temsil etmektedir. Bu sistem, uçuş rotalarının belirlenmesi ve optimize edilmesinde geleneksel yöntemlere kıyasla büyük avantajlar sağlar. Yapay zeka algoritmaları, hava sahasındaki mevcut trafiği, hava koşullarını ve uçakların teknik özelliklerini dikkate alarak en uygun ve güvenli rotaları tasarlar. Bu sayede, hava trafik akışının düzenlenmesi ve günlük operasyonların etkin yönetimi sağlanır. Ayrıca, otomatik uçuş planlamanın kullanımı, insan hatasını minimize ederken zaman ve maliyet tasarrufu da yapar.

Yapay zekanın bu alandaki uygulamalarında, makine öğrenimi ve optimizasyon algoritmaları yoğun olarak kullanılmaktadır. Sistemler, geçmiş verilerden öğrenerek, farklı senaryolara en uygun rotaları tahmin eder ve önerir. Böylece, özellikle yoğun trafik saatlerinde uçuşların çakışması veya gecikme olasılıklarını azaltmaya katkıda bulunur. Aynı zamanda, hava durumlarındaki ani değişikliklere karşı hızla uyum sağlayabilir ve alternatif planlar üretebilir. Bu dinamik ve adaptif özellikler, hava sahası kullanımını daha etkin hale getirerek, güvenliği artırır ve operasyonel verimliliği yükseltir.

Gelişmiş otomatik uçuş planlama sistemleri, özellikle çok sayıda uçağın aynı anda hareket ettiği karmaşık hava sahalarında kritik bir rol oynar. Bu sistemler, otomatik rotalama süreçlerini zaman içinde optimize ederek, trafik yoğunluğunun en uygun seviyede tutulmasını sağlar. Ayrıca, bu uygulamalar, hava trafik kontrolörlerinin üzerinde düşen yükü azaltır ve karar verme süreçlerini hızlandırır. Sonuç olarak, yapay zekanın hava trafik kontrolündeki otomatik uçuş planlama üzerindeki etkisi, trafik akışını düzenlemede yüksek

etkinlik ve güvenilirlik sağlar, gelecekteki gelişmelerle bu avantajlar daha da artacaktır.

### 3.2. İniş ve Kalkış Yönetimi

İniş ve kalkış yönetimi süreçleri, hava trafik kontrolünün en kritik aşamalarından biridir ve güvenliğin sağlanmasında vazgeçilmez bir unsurdur. Yapay zeka sistemleri, bu aşamada operatörlerin yükünü azaltarak, daha etkin ve hatasız kararlar alınmasına imkan tanır. Özellikle, yapay zeka algoritmaları, uçakların pistlere iniş ve kalkış sırasında hız, irtifa ve yön gibi parametrelerini analiz ederek, uçuş güvenliğini en üst seviyeye çıkarır. Otomatik kontrol sistemleri, hava meydanındaki uçuş trafiğini sürekli izler ve gerçek zamanlı veri akışına göre nesne tanıma, rota optimizasyonu ve çakışma önleme görevlerini yerine getirir. Bu sistemler, pistlerin uygunluğunu ve hava trafik yoğunluğunu dikkate alarak, kalkış ve iniş zamanlamalarını optimize eder. Ayrıca, yapay zeka teknolojileri sayesinde, olası hava durumu değişiklikleri ve acil durumlar önceden tespit edilerek, uyarı sistemleri devreye alınır ve şüpheli durumlarda operasyonlar durdurulabilir. İnsan müdahalesine destek sağlayan bu çözümler, operasyonel verimliliği artırırken, insani hataları minimize eder. Akıllı sistemler, uçakların hız, rotalar ve pist kullanımını daha etkin yönetirken, aynı zamanda, izleme ve raporlama süreçlerini hızlandırır. Bu kapsamda, gerçek zamanlı veri entegrasyonu sayesinde, kalkış ve iniş sırasında oluşabilecek riskler en aza indirilir ve trafik akışında akıcılık sağlanır. Böylece, yapay zeka uygulamaları, hava meydanı trafiğinin güvenli, düzenli ve verimli bir şekilde gerçekleşmesine önemli katkılar sunar. Teknolojinin ilerlemesiyle, bu sistemlerin adaptasyonu ve entegrasyonu daha da gelişecek, hava trafiğinin geleceğinde temel bir rol üstlenmeye devam edecektir.

### 3.3. Hava Sahası Yönetimi

Hava sahası yönetimi, hava trafik kontrolünün sürdürülebilirliği ve güvenliği açısından kritik bir unsurdur. Yapay zeka teknolojilerinin entegre edilmesiyle, hava sahasının etkin ve verimli kullanımı sağlanmaktadır. Bu bağlamda, yapay zeka algoritmaları, hava trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde oluşabilecek karmaşık hareketleri analiz ederek, gerçek zamanlı karar destek sistemleri geliştirir. Böylece, uçakların rotaları optimize edilirken, çakışma riskleri en aza indirilir. Ayrıca, yapay zeka sistemleri, hava trafik kontrol merkezlerinin karşılaştığı bilgi akışını otomatikleştirir, manuel hata oranlarını azaltır ve operatörlerin yükünü hafifletir. Bu teknolojiler, hava durumu değişikliklerini öngörmek ve olası olumsuz durumlara karşı önleyici tedbirleri erken aşamada almak için de kullanılır. Hava sahası yönetiminde yapay zekanın kullanılması, sadece operasyonel verimliliği artırmakla

kalmaz, aynı zamanda uçuş güvenliğini de güçlendirir. Gelecekte, yapay zeka destekli simülasyon ve tahmin modellerinin gelişimi, çok daha karmaşık hava trafiği senaryolarının yönetilmesine olanak tanıyacak, böylece hava sahası kapasitesinin yükselmesi ve uluslararası uçuşların daha güvenli hale gelmesi sağlanacaktır. Ayrıca, yapay zeka tabanlı karar mekanizmalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, insani hataların minimize edilmesi ve operasyonel sürelerin kısalması beklenmektedir. Bu gelişmeler, hava trafik yönetiminde sürdürülebilirlik ve emniyet standartlarının yükselmesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, hava sahası yönetiminde yapay zekanın entegrasyonu, hem düzenleyici kurumların hem de operatörlerin iş yükünü azaltırken, uluslararası uçuşların daha etkin ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine imkan tanımaktadır.

### **3.4. Uçak Takip Sistemleri**

Uçak takip sistemleri, hava trafik kontrolünün temel unsurlarından biridir ve yolcuların güvenliği ile hizmet verimliliğinin artırılmasında kritik rol oynar. Geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen takip işlemleri, radar sistemleri ve iletişim cihazları kullanılarak yapılırken, yapay zeka teknolojilerinin entegrasyonu bu süreçleri daha hassas, hızlı ve otomatik hale getirmektedir. Yapay zeka ile güçlendirilmiş uçak takip sistemleri, gerçek zamanlı konum ve hız verilerini analiz ederek, olası çarpışma risklerini önceden tespit edebilir ve gerekli önlemleri otomatik olarak alabilir. Bu sistemler, uçakların rotasını, irtifasını ve hızını sürekli izleyerek, karşılaşılabilecek acil durumlara anında reaksiyon gösterebilir. Ayrıca, yapay zeka algoritmaları sayesinde uçakların hareketleri tahmin edilerek, hava sahası yönetiminin etkinliği artırılır ve trafik yoğunlukları daha verimli şekilde organize edilir. Bu gelişmeler, geleneksel takip sistemlerine kıyasla daha güvenilir ve esnek bir hava trafik yönetimi sağlar. Yapay zeka destekli takip sistemleri, büyük veri analitiği ve makine öğrenimi algoritmalarıyla sürekli kendini geliştirerek, yeni hava sahası dinamiklerine uyum sağlayabilir. Böylece, hem operasyonel maliyetler azalır hem de uçuş emniyeti maksimize edilir. Ayrıca, bu sistemler, siber saldırılara karşı da koruma sağlamak üzere gelişmekte olan güvenlik protokolleriyle entegre edilerek, hava trafik kontrolü alanında teknolojik güvenlik standartlarını yükseltir. Sonuç olarak, uçak takip sistemlerinin yapay zeka ile entegrasyonu, hava trafik yönetimini daha bilimsel, akıllı ve geleceğe uygun hale getirme yolunda önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır.

### **3.5. Yapay Zeka Algoritmaları**

Yapay zeka algoritmaları, hava trafik kontrolünde karmaşık ve dinamik ortamların etkin yönetimi için temel teknolojik yapı taşlarıdır. Bu algoritmalar,

büyük veri setlerinin analiz edilmesi ve gerçek zamanlı karar verme süreçlerini hızlandırmak amacıyla geliştirilmiştir. Makine öğrenimi teknikleri, uçuş verileri, hava durumu bilgileri ve trafiğin yoğunluğunu analiz ederek, olası riskleri önceden tespit eder ve operasyonların güvenliğini artırır. Özellikle gömülü sistemler ve istatistiksel modeller kullanılarak, uçuş rotalarının optimize edilmesi ve çakışmaların önlenmesi sağlanır. Derin öğrenme ise görüntü ve sensör verilerinin işlenmesinde kullanılır, böylece hava trafik kontrol noktalarındaki nesne tanıma ve durum farkındalığı güçlendirilir. Bu sayede, uçakların konumlandırılması, yaklaşma ve iniş işlemleri daha doğru ve güvenilir hale gelir. Doğal dil işleme ise, insansız iletişim sistemlerinde yeni içerik ve talimatların doğal ve anlaşılır biçimde oluşturulmasını mümkün kılarak, kontrol merkezleri ile uçaklar arasındaki etkileşimi iyileştirir. Tüm bu algoritmalar, yapay zekanın sunduğu öğrenme ve adaptasyon kabiliyetleriyle sürekli gelişerek, hava trafik akışını daha güvenli ve verimli hale getirir. Ayrıca, bu teknolojiler, hata oranlarını azaltma ve olaylara hızlı müdahale kapasitesini artırma konusunda önemli bir rol oynar, böylece hava trafik operasyonlarının toplam etkinliği yükselir. Bu gelişmeler, hava trafik yönetiminde yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlayan sistemlerin tasarımına olanak tanırken, aynı zamanda yeni teknolojik yeniliklerin entegrasyonu ve sürdürülebilir gelişme açısından da temel oluşturur.

#### 4. Makine Öğrenimi

Makine öğrenimi, hava trafik kontrolünde işlevselliğin artırılması ve operasyonların daha güvenli hale getirilmesi adına kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknolojik yaklaşım, büyük veri kümelerinden otomatik olarak anlamlı örüntüleri ve ilişkileri tanıma yeteneği sayesinde, hava trafik yönetiminde çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle uçuş hareketlerinin analizi, tahmini ve optimize edilmesi gibi alanlarda makine öğrenimi algoritmaları, insana kıyasla daha yüksek hızda ve doğrulukta kararlar verebilmektedir. Bu algoritmalar, gerçek zamanlı verilerden sıradışı durumları tespit etme, olası çakışmaları önceden tahmin etme ve alternatif rotalar önerme gibi kritik fonksiyonları desteklemektedir. Böylece, hava trafiğinde oluşabilecek gecikmelerin ve kazaların minimize edilmesi sağlanmakta, operasyonel verimlilik artmaktadır. Ayrıca, uçuşların planlanması ve hava sahasının etkin kullanımında makine öğrenimi teknikleri, çeşitli parametreleri dikkate alarak en uygun çözümleri otomatik olarak önerir. Bu sayede, hava trafik kontrol merkezlerinin yükü hafiflerken, uçuş güvenliği yükselir. Kısaca, makine öğrenimi, hava trafik kontrolünde yapay zekanın sağladığı akıllı karar alma süreçlerinin temel taşlarından biri olmaya devam etmektedir ve bundan sonra da teknolojik gelişmelerle daha geniş uygulama alanlarına yayılacaktır.

#### 4.1. Derin Öğrenme

Derin öğrenme, yapay zeka alanında önemli bir teknolojik gelişme olarak hava trafik kontrolünde kullanılmaktadır. Geleneksel algoritmaların ötesine geçerek, büyük veri setleri üzerinde karmaşık örüntüleri tanıma ve bu örüntülere dayanarak tahminlerde bulunma kabiliyeti sağlar. Bu teknoloji sayesinde hava trafik yönetim sistemleri, uçuş yoğunluğunun arttığı dönemlerde dahi daha doğru ve hızlı kararlar alabilmektedir. Derin öğrenme modelleri, özellikle hava sahası içindeki uçuşların gerçek zamanlı izlenmesi ve olası tehlikelerin erkenden tespiti süreçlerinde etkin biçimde kullanılır. Örneğin, uçuş planlaması ve çatışma önleme algoritmaları, derin sinir ağları sayesinde gelişmiş doğruluk seviyelerine ulaşmış, böylece olası kazaların önüne geçilmiştir. Ayrıca, iniş ve kalkış sırasında trajedi tahminleri yapabilmek, hava trafik kontrolörlerinin riskleri minimize etmesine imkan sağlar. Bu modeller, uçakların hareketlerini ve çevresel koşulları sürekli analiz ederek, potansiyel riskleri öngörebilmekte ve otomatik uyarılar göndermektedir. Derin öğrenme, aynı zamanda uçuş güvenliğinin yanı sıra kapasite artırımı ve maliyetlerin azaltılması açısından da büyük avantajlar sunar. Günümüzde, büyük hava yolu şirketleri ve hava trafik kontrol merkezleri, bu teknolojiyi pilot projelerde deneyerek uygulama alanlarını genişletmektedir. Ancak, bu alandaki gelişmelerin sürdürülebilir olması ve doğru sonuçlar verebilmesi için yüksek kaliteli veri setlerine ihtiyaç duyulmakta, eğitim ve veri gizliliği gibi konular da göz önünde bulundurulmaktadır. Sonuç olarak, derin öğrenme, hava trafik kontrol süreçlerinde otomasyon ve karar destek sistemlerinin temel taşlarını oluşturmaktadır; gelişmiş analiz kapasitesiyle, operasyonların güvenliğini ve etkinliğini artırmak adına kritik bir rol üstlenir.

#### 4.2. Doğal Dil İşleme

Doğal Dil İşleme (Dİ) teknolojileri, hava trafik kontrolünde iletişim ve bilgi akışını daha etkili hale getirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemler, hava trafik kontrolörleri ile uçuş ekipleri arasında gerçekleşen iletişimlerini analiz ederek, otomatik anlamlandırma ve özet çıkarma yetenekleri sağlar. Özellikle karmaşık ve yoğun hava trafik ortamlarında, tehlike veya acil durum bildirimlerini hızlı ve doğru şekilde tanımlamak ve önceliklendirmek için Dİ uygulamaları büyük önem taşır. Ayrıca, farklı dillerdeki iletişimlerini standardize ederek, uluslararası hava trafik yönetiminde dil bariyerlerini azaltabilir. Bu sayede, uçuş ve yolcu bilgileri gibi kritik verilerin hatasız anlaşılması sağlanır. Ayrıca, doğal dil işleme algoritmaları, uçuş logları ve iletişim kayıtlarındaki büyük veri setlerini tarayarak, potansiyel sorunları veya anormal durumları tespit edebilir. Böylece, proaktif müdahale ve karar destek sistemleri geliştirilerek güvenlik ve verimlilik artırılır. Özetle, Dİ

teknolojileri, hava trafik kontrol süreçlerinde insan hatasını azaltmaya ve iletişim etkinliğini artırmaya yönelik önemli bir araç haline gelmiştir. İleri dil analizi teknikleri, otomasyonun sınırlarını zorlayarak, gerçek zamanlı iletişim denetimi ve anlamlandırma kapasitesini yükseltmektedir. Bu gelişmeler, hava trafiğinin hızla büyüdüğü günümüzde, daha güvenli ve akıcı bir hava ulaşım sisteminin oluşmasına katkı sağlar.

## 5. Gelecek Perspektifi

Gelecek perspektifinde hava trafik kontrolünde yapay zekanın kullanım alanlarının genişlemesi ve teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte, sistemlerin daha etkin, güvenli ve özerk hale gelmesi öngörülmektedir. Otonom uçuş sistemlerinin geliştirilmesi, insansız hava araçlarının ve hatta insansız savaş uçaklarının kontrollü ve güvenli şekilde uçuşlarını sağlayacak algoritmaların oluşturulmasını teşvik edecektir. Bu sistemlerin, hava sahasının dinamik yapısını gerçek zamanlı olarak analiz ederek, trafik yoğunluğunu optimize etmesi ve olası çarpışma risklerini minimize etmesi mümkün olacaktır. Aynı zamanda, büyük veri analitiği ve tahminleme teknolojileri, hava trafiği hareketlerini önceden öngörerek, planlama ve karar verme süreçlerini daha proaktif hale getirecektir. Bu sayede, hava trafiklerdeki gecikmeler azalırken, operasyonel verimlilik artacaktır. İnsan-makine işbirliği, gelecekteki gelişmelerin temel taşlarından biri olarak öne çıkmaktadır. İnsan operatörlerin yerini tamamen alacak değil, bunların karar alma süreçlerini destekleyecek ve tamamlayıcı işlemleri yapacak yapay zeka sistemleri geliştirilmekte olup, böylece hata payı azaltılacaktır. Ayrıca, veri güvenliği ve siber saldırılara karşı alınacak önlemler, güvenliğin en üst seviyeye çıkarılması adına büyük önem taşımaktadır. Yasal düzenlemeler ve etik kurallar da teknolojik gelişmelerle birlikte güncellenerek, insanlara ve teknolojilere olan güvenin sağlanması hedeflenecektir. Kısacası, yapay zekanın hava trafik kontrolündeki rolü giderek artacak, bu da havacılık sektöründe daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir gelecek vaat etmektedir.

### 5.1. Otonom Uçuş Sistemleri

Otonom uçuş sistemleri, hava trafiği yönetiminde devrim niteliğinde yenilikler ortaya koymaktadır. Bu sistemler, yapay zeka algoritmaları sayesinde uçuşların planlanması, izlenmesi ve kontrol edilmesinde insan müdahalesine olan ihtiyacı azaltmaktadır. Özellikle makine öğrenimi ve derin öğrenme tekniklerinin entegrasyonu ile uçakların davranışlarını önceden tahmin edebilme ve olası riskleri minimize etme kabiliyetleri gelişmiştir. Otonom sistemler, hava sahasında karmaşık ve yoğun trafik koşullarında bile yüksek doğruluk ve hızla kararlar alabilmekte, bu da güvenliği ve

verimliliği artırmaktadır. Ayrıca, yapay zekanın sürekli kendini geliştiren algoritmaları sayesinde, değişen hava koşulları, beklenmedik durumlar ve acil durumlar anında hızlı çözüm önerileri sunabilir. Bu sistemler, uçuşların otomatik olarak yönlendirilmesi, çakışma önleme ve trafik akışını düzenleme gibi temel görevleri üstlenmektedir. Aynı zamanda, uçağın konum, hız ve rota verilerini gerçek zamanlı analiz ederek, hava trafik kontrol merkezleri ve otonom uçuş araçları arasındaki iletişimi güçlendirmektedir. Bu sayede, insan faktörünün hata yapma olasılığı azaltılırken, süreçlerin otomasyonu artmakta ve operasyonel maliyetler düşürülmektedir. Otonom uçuş sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte, hava trafiğinde güvenlik ve etkinlik seviyeleri önemli ölçüde yükselmektedir. Ancak, bu gelişmelerle beraber siber güvenlik, altyapı güvenliği ve etik konularında yeni sorumluluk ve önlemler de ortaya çıkmaktadır. Sahip olduğu potansiyel ile, otonom uçuş sistemleri, hava trafik yönetiminde geleceğin temel taşı olmaya devam edecektir.

## 5.2. Veri Analitiği ve Tahminleme

Veri analitiği ve tahminleme yöntemleri, hava trafik kontrolünde operasyonel verimliliği artırmak ve olası riskleri minimize etmek amacıyla önemli bir rol oynamaktadır. Bu süreçte büyük hacimli verilerin toplanması, gerçek zamanlı analiz edilmesi ve anlamlı öngörüler elde edilmesi sağlanmaktadır. Uçuş hareketleri, hava sahası kullanım durumu, hava araçlarının istatistikleri ve hava koşulları gibi çeşitli veri kaynakları, gelişmiş algoritmalar aracılığıyla işlenerek hava trafik yoğunluğu ve potansiyel riskler hakkında tahminlerde bulunmaktadır. Makine öğrenimi ve derin öğrenme teknikleri, geçmiş verilere dayanarak belirli paternleri tanımlama ve gelecekteki olayları tahmin etme kapasitesine sahiptir. Bu sayede, olası trafik sıkışıklıkları önceden öngörülerek, uçuş rotaları ve zamanlamaları optimize edilmektedir. Tahminleme algoritmaları ayrıca, hava koşulları ve saat dilimi gibi değişkenleri dikkate alarak, beklenmedik durumlara karşı proaktif çözümler geliştirilmesine imkan tanır. Ayrıca, gelişmiş gerçek zamanlı veri analitiği sistemleri, hava trafik kontrol merkezlerine anlık durumu göstermekle birlikte, olası acil durumlar ve gecikmeler hakkında hızlı karar verme süreçlerini destekler. Bu teknoloji, sadece operasyonel aksaklıkların azaltılmasıyla kalmayıp, aynı zamanda güvenlik seviyesinin yükseltilmesine de katkıda bulunmaktadır. Sonuç olarak, veri analitiği ve tahminleme yöntemleri, hava trafik yönetiminde verimlilik, güvenlik ve planlama açısından kritik öneme sahiptir ve sürekli gelişen yapay zeka algoritmalarıyla desteklenerek, sektörde devrim yaratmaya devam etmektedir.



### 5.3. İnsan-Makine İşbirliği

İnsan-makine işbirliği, hava trafik kontrolünde yapay zekanın etkin kullanımı açısından kritik öneme sahiptir. Yapay zeka sistemleri, insan operatörlerin karar verme süreçlerine destek sağlayarak, trafik yoğunluğunun artması ve operasyonların karmaşık hale gelmesi durumlarında etkinlik ve güvenlik seviyesini artırır. Bu işbirliği, insana özgü sezgi ve deneyim ile yapay zekanın büyük veri işlemedeki üstünlüğünün birleşimini temel alır. İnsan operatörler, yapay zeka algoritmalarının sağladığı analiz ve öngörülerini kullanarak, riskli durumları önceden tespit edebilir ve hızlı müdahaleler gerçekleştirebilir. Ayrıca, yapay zeka sistemleri operatörlerin bilgilendirilmesini otomatik hale getirerek, iletişimi sadeleştirir ve iş yükünü azaltır. Bu sayede, insanlar ve makineler arasındaki etkileşim güvenlik, hızlilik ve verimlilik açısından optimize edilir. İnsan-makine işbirliği, özellikle karmaşık hava trafiği yönetimi süreçlerinde, her iki tarafın da yetkinliklerinin en iyi şekilde kullanılmasıyla kritik kararların alınmasını kolaylaştırır. Bu sistemlerde insan operatörler, yapay zekanın sunduğu tahminleri ve önerileri dikkatle değerlendirirken, gerektiğinde müdahale ve karar alma sürecine katılır. Dolayısıyla, yapay zekanın insan faktörüyle uyum içinde kullanılması, hava trafik kontrolünde hem güvenliği artırır hem de operasyonların sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez bir unsurdur. Bu işbirliğinin sağlıklı işlemesi için insan-makine iletişiminin sürekli geliştirilmesi ve eğitimlerin artırılması gerekmektedir. Ayrıca, teknolojik gelişmeler ışığında, insana verilen role ve müdahale kapasitesine uygun sistemler tasarlamak, hata oranlarını minimize ederek, genel performansı yükseltir. Bu kombine güç, hava trafiğinin güvenli ve etkin yönetiminde yeni standartların belirlenmesine imkan sağlar. García-Hernández et al. (2023)

### 6. Zorluklar ve Riskler

Hava trafik kontrolünde yapay zekanın kullanımı, beraberinde çeşitli teknolojik ve operasyonel zorlukları da getirmektedir. İlk olarak, siber güvenlik tehditleri önemli bir risk oluşturmaktadır. Yapay zeka sistemleri, siber saldırganların hedefi haline gelebilir ve bu durum, uçuş güvenliğini ciddi şekilde tehlikeye atabilir. Özellikle, sistemlere yönelik siber saldırılar, uçuş planlarının manipüle edilmesi veya sistemlerin çalışmaz hale getirilmesi gibi riskleri doğurabilir. Ayrıca, veri gizliliği konusu da dikkatle ele alınmalıdır. Yapay zeka algoritmalarının etkin çalışabilmesi için büyük miktarda uçuş ve yolcu verisinin toplanması gerekirken, bu verilerin gizliliğinin korunması önemlidir. Yasal düzenlemeler ve veri koruma yasaları, bu noktada karmaşık bir çerçeve oluşturarak teknolojik gelişmelerle uyum sağlama zorluklarını artırabilir Hawley (2025). Diğer yandan, yapay zekanın yaygın kullanımı,

etik sorunları da beraberinde getirir. Sistemlerin karar alma süreçleri şeffaf olmalı ve sorumluluk mekanizmaları net bir şekilde belirlenmelidir. Ayrıca, yapay zeka temelli sistemlerin hatasız çalışması beklense de, insani hata ve sistem arızaları gibi unsurlar yine de risk yaratabilir. Bu nedenle, operasyonel güvenliği sağlamak için insan faktörü her zaman merkezi bir önemde tutulmalı ve otomasyon ile insan katkısı uygun bir denge içerisinde olmalıdır. Son olarak, teknolojik gelişmeler hızla ilerlerken, yasal düzenleyicilerin ve uluslararası standartların da güncellenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, yasal boşluklar ve uyumsuzluklar, yapay zekanın verimli ve güvenli kullanımını engelleyebilir. Tüm bu zorluklar dikkate alındığında, hava trafik kontrolünde yapay zekanın entegrasyonunun dikkat ve sorumluluk bilinciyle yönetilmesi, teknolojik ilerlemenin sürdürülebilirliği ve uçuş güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır Botez & Lungu (2022).

### **6.1. Siber Güvenlik Tehditleri**

Siber güvenlik tehditleri, hava trafik kontrolünde yapay zekanın kullanımı sırasında en önemli riskler arasında yer almaktadır. Yapay zeka sistemleri, kritik hava trafik verilerini işlerken büyük hacimli ve hassas bilgiler içerir. Bu verilerin yetkisiz erişim veya kötü niyetli saldırılar sonucu ele geçirilmesi, hem operasyonların aksamasına hem de olası güvenlik açıklarına neden olabilir. Özellikle, saldırganlar yapay zeka tabanlı sistemleri manipüle ederek yanlış bilgilerin verilmesine, uçuşların yönlendirilmesinde krizlere veya ciddi kazalara yol açabilecek hatalara sebep olabilir. Günümüzde siber saldırılar, özellikle güç kaynaklarının kesilmesi, veri bütünlüğünün bozulması ve algoritmalara müdahale edilmesi şeklinde gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle, hava trafik kontrol sistemlerinde kullanılan yapay zeka uygulamalarında yoğun güvenlik tedbirleri alınması gerekmektedir. Şifreleme teknolojileri, çok katmanlı güvenlik altyapıları ve sürekli izleme mekanizmaları, olası siber saldırılara karşı koruma sağlar. Ayrıca, yapay zeka sistemlerinin güvenlik açıklarının erkenden tespit edilip, güncellemelerle giderilmesi ve çalışanların siber güvenlik konusunda bilinçlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu önlemler, sadece sistemlerin güvenliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda hava trafik kontrolünün devamlılığını ve güvenilirliğini de artırır. Sonuç olarak, yapay zeka tabanlı hava trafik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanımında, siber güvenlik tehditlerine karşı proaktif ve bütünsel yaklaşımlar benimsenmelidir. Farley & Mohan (2021) Bu sayede, olası güvenlik riskleri minimize edilerek, uluslararası hava trafiğinin güvenli ve verimli bir şekilde sürdürülebilmesi sağlanabilir.

## 6.2. Veri Gizliliği

Veri gizliliği, hava trafik kontrolünde yapay zekanın etkin kullanımı sırasında temel öneme sahip bir unsurdur. Yapay zeka sistemlerinin, uçuş verileri, yolcu bilgiler ve hava sahası operasyonlarına ait çeşitli bilgiler üzerinde çalışması, kişisel ve kurumsal gizliliğin korunmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, toplanan verilerin güvenli bir şekilde saklanması ve yetkisiz erişimlere karşı koruma altına alınması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, verilerin kullanımı ve paylaşımı sırasında yasal düzenlemelerin dikkate alınması gerekir; bu düzenlemeler, bireylerin temel hak ve özgürlüklerini korumayı hedefler. Veri gizliliği kapsamında, açık rıza alınmadan kişisel bilgilerin kullanımı sınırlandırılmalı, anonimleştirme ve şifreleme gibi teknolojiler aktif biçimde kullanılmalıdır. Bununla birlikte, yapay zeka uygulamalarında kullanılan büyük veri setlerinin güvenliği sağlanmadan, sistemlerin güvenilirliği tam anlamıyla garanti edilemez. Günümüzde, veri gizliliğini sağlamak için gelişmiş güvenlik protokolleri ve sık sık yapılan denetimler uygulanmaktadır. Ayrıca, uluslararası standartlara uyum ve sürekli güncellenen mevzuatlara uygun hareket edilerek, veri ihlali ve mahremiyet ihlali riskleri minimize edilmektedir. Bu önlemler, hem kullanıcıların hem de kurumların güvenliğini sağlama yönünde önemli adımlar olarak kabul edilir. Ancak, teknolojik gelişmelerle birlikte ortaya çıkan yeni tehditler ve saldırı yöntemleri, sürekli bir güncelleme ve geliştirme gerektirmektedir. Kısaca, hava trafik kontrolünde yapay zekanın etkin ve güvenli kullanımı, veri gizliliğinin titizlikle korunmasını ve yasal çerçevede hareket edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu durum, hem operasyonel verimlilik hem de toplum güvenliği açısından kritik bir husustur ve sürdürülebilir yapay zeka uygulamaları için temel bir gerekliliktir.

## 6.3. Yasal Düzenlemeler

Yasal düzenlemeler, hava trafik kontrolünde yapay zekanın etkin ve güvenli kullanımını sağlamak amacıyla önemli bir rol oynamaktadır. Yapay zekanın havacılık sektöründe entegrasyonu, yeni teknolojilerin gelişimiyle birlikte hız kazanmakta ve bu süreçte mevzuat uyumluluğu hayati öneme sahiptir. Bu bağlamda, uluslararası otoriteler ve ülke bazında düzenleyici kurumlar, yapay zeka uygulamalarını kapsayan yasal çerçeveler oluşturmaya başlamıştır. Özellikle siber güvenlik ve veri gizliliği alanlarında, yapay zeka tabanlı sistemlerin korunmasına yönelik yasal standartlar belirlenmektedir. Bunlar arasında, sistemlerin güvenilirliği, hata paylarının minimize edilmesi ve yanlış kararların önlenmesi amacıyla teknisyenler ve düzenleyici kurumlar arasında iş birliği gereklilikleri de yer almaktadır. Ayrıca, yapay zekanın etik kullanımı ve sorumluluklar konusunda net düzenlemelerin olması, olası

hukuki sorunların önüne geçilmesi adına kritik bir noktadır. Mevzuatın güncel ve esnek olması, teknolojik gelişmelere hızlı adaptasyonu sağlayacak yeniliklere imkan tanımaktadır. Bunun yanı sıra, hava trafiği üzerinde yapay zeka temelli karar mekanizmalarının uluslararası standartlara uygunluğunun sağlanması, farklı ülkelerin hava sahası yönetimi ve uçuş güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, yasal düzenleyicilerin, teknolojik gelişmeleri takip ederek gerekli düzenlemeleri zamanında yapması, hem güvenlik hem de yenilikçilik açısından temel bir gerekliliktir. Farley & Mohan (2021) Sonuç olarak, hava trafik kontrolünde yapay zekanın kullanımıyla ilgili yasal düzenlemelerin, teknolojik ilerlemeleri destekleyecek ve sektörde sürdürülebilirliği sağlayacak şekilde sürekli yenilenmesi ve geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

## 7. Başarı Hikayeleri

Başarı hikayeleri, hava trafik kontrolü alanında yapay zekanın etkili ve verimli kullanılmasının somut örneklerini ortaya koymaktadır. Özellikle birkaç uluslararası havalimanında gerçekleştirilen pilot projeler, yapay zekanın trafik akışını optimize etme, bekleme sürelerini azaltma ve güvenliği artırma konularında kayda değer sonuçlar vermiştir. Örneğin, Avrupa'da gerçekleştirilen bir projede, yapay zeka destekli uçuş planlama sistemi sayesinde uçuşların rotaları ve saatleri otomatik olarak optimize edilerek, uçuş gecikmeleri %20 oranında azalmıştır. Aynı zamanda, yapay zeka tabanlı hava sahası yönetimi sistemleri, yoğun hava trafiklerinin yönetiminde insan operatörlerine destek sağlayarak, çakışma risklerini minimuma indirmiştir. Bu uygulamalar, hem operasyonel verimliliği artırmış hem de kazaları önleme noktasında önemli gelişmeler kaydetmiştir. Kanada ve Amerika gibi ülkelerde ise, yapay zeka destekli uçak takip sistemleri sayesinde, olası arızaların erken tespiti ve önleyici bakım uygulamalarının entegre edilmesi sağlanmış, operasyonel güvenilirlik güçlendirilmiştir. Ayrıca, bu teknolojilerin entegrasyonu, özellikle yoğun trafik saatlerinde insani hataların azalmasına ve çalışanların yükünün hafifletilmesine katkı sağlamıştır. Tüm bu başarılar, yapay zekanın hava trafik kontrolünde sağladığı otomasyon ve karar destek mekanizmalarının, güvenli, etkin ve sürdürülebilir bir hava ulaşım sistemi için vazgeçilmez hale geldiğini göstermektedir. Bu olumlu örnekler, teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte daha geniş kapsamlı uygulamalara geçişin önünü açmaktadır ve havacılık sektöründe yapay zekanın rolünün giderek daha da önem kazanacağı öngörülmektedir.

### 7.1. Örnek Uygulamalar

Mevcut uygulamalar kapsamında yapay zekanın hava trafik kontrolündeki kullanımı çeşitli alanlarda kendini göstermektedir. Otomatik uçuş planlama sistemleri, yapay zeka teknolojileri sayesinde uçuş rotalarının optimize edilmesini sağlar. Bu sistemler, hava trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde en uygun rotaları ve kalkış-kalkış saatlerini belirleyerek, zaman ve yakıt tasarrufu sağlar. Ayrıca, yapay zekanın uçakların iniş ve kalkış yönetiminde de kullanımı yaygındır. Bu uygulamalar, havaalanlarındaki pist kullanımını hızlandırırken, iniş ve kalkış sırasında oluşabilecek gecikmeleri minimize eder. Hava sahası yönetimi ise, bölgedeki hava araçlarının sayısına bağlı olarak uygun hava sahası kullanımını düzenler. Yapay zeka sistemleri, gerçek zamanlı hava durumu verileri ve trafik yoğunluğu analizleriyle, hava sahasının verimli ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Uçak takip sistemleri ise, yapay zeka teknikleriyle uçuş sırasında araçların konumlarını sürekli izler. Bu sayede, olası riskler erken tespit edilerek kısa sürede önlemler alınabilir. Bu teknolojiler, hem kazaların önlenmesinde hem de uçuş güvenliğinin artmasında kritik bir rol oynar. Zhang & Wang (2021) Genel olarak, yapay zekanın hava trafik kontrolündeki uygulamaları, operasyonların otomasyonunu artırırken, güvenlik, verimlilik ve maliyet açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu uygulamaların sürekli gelişimi, daha güvenli ve sürdürülebilir hava ulaşım sistemlerinin inşasında temel unsurlardan biri olmaya devam edecektir.

### 7.2. Başarıyla Uygulanan Projeler

Başarıyla uygulanan projeler, hava trafik kontrolünde yapay zekanın etkin ve güvenilir kullanımını göstermektedir. Bu projeler, sektördeki çeşitli zorluklara çözümler sunarken, operasyonel verimliliğin artırılmasına önemli katkılar sağlamıştır. Örneğin, otomatik uçuş planlama sistemi kapsamında geliştirilen yapay zeka tabanlı algoritmalar, operasyonların hızlanmasını ve planlamanın doğruluğunun artmasını sağlamıştır. Zhang & Wang (2021) Ayrıca, iniş ve kalkış süreçlerinde kullanılan yapay zeka uygulamaları, havaalanlarındaki trafik yoğunluğunu yöneterek, zaman kaybını azaltmış ve güvenliği yükseltmiştir. Hava sahası kontrolünde ise, gerçek zamanlı veri analitiği ve makine öğrenimi teknikleri kullanılarak, hava trafiğinin daha etkin yönetilmesi mümkün hale gelmiştir. Örnek projelerden biri, hava trafik akışını optimize eden ve uçuş güvenliğini sağlayan akıllı hava sahası yönetim sistemidir. Bu sistemler, uçakların konumlarını sürekli izleyerek, potansiyel çarpışma risklerini minimize etmektedir. Ayrıca, uçak takip sistemleri alanında gerçekleştirilen projeler, hava trafik merkezlerinin daha doğru ve hızlı kararlar almasını kolaylaştırmıştır. FAA (2023) Bu projelerin temelinde, yapay zekanın büyük veri analizi yapabilme kabiliyeti ve öğrenme

süreçleri yer almaktadır. Sonuç olarak, bu projelerin başarısı, yapay zekanın hava trafik kontrolünde sunduğu çözüm potansiyelinin somut örnekleridir ve sektördeki güvenlik, verimlilik ve operasyonel başarı açısından önemli bir dönüm noktası olmuştur.

## 8. Gelecekteki Araştırma Alanları

Gelecekteki araştırma alanları kapsamında, yapay zeka teknolojilerinin hava trafik kontrolünde daha etkin ve güvenli sistemlere entegre edilmesi öne çıkmaktadır. Bu alanda odaklanılacak temel konulardan biri, yapay zekanın etik ilkelerle uyumlu şekilde geliştirilmesidir. EUROCONTROL (2022) Otonom uçuş ve hava trafik yönetim sistemlerinin artan kullanımını göz önüne alındığında, bu sistemlerin karar alma süreçlerinde şeffaflık ve hesap verebilirlik sağlamak büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, yeni teknolojilerin entegrasyonu sırasında ortaya çıkabilecek teknolojik ve yasal uyumsuzlukların önlenmesi amacıyla, standartlar ve düzenleyici çerçevelerin yeniden gözden geçirilmesi gerekecektir. Veri analitiği ve tahminleme alanında yapılan çalışmalar, hava trafik akışını optimize etmek ve olası riskleri erken tespit etmek için daha gelişmiş modellerin geliştirilmesine imkan tanımaktadır. Bu modeller, uçuş güvenliği ve zamanlama açısından önemli avantajlar sağlayarak, acil durumlara hızlı müdahale edilmesini kolaylaştıracaktır. İnsan-makine işbirliği süreçlerinin iyileştirilmesi ise, insan operatörlerin karar destek sistemleriyle entegrasyonunun güçlendirilmesine odaklanacaktır. Uzmanların ve yapay zeka sistemlerinin ortak çalışması, karmaşık senaryolarda daha akıllı ve esnek çözümler sunacaktır. Pascanu et al. (2023) Ayrıca, siber güvenlik alanında yeni tehditlere karşı önlemler geliştirilerek, sistemlerin bütünlüğü ve gizliliği korunacaktır. Bu doğrultuda, yapay zekanın etik boyutları ve siber tehditlere karşı sürdürülebilir çözümler, ileri araştırma konuları arasında yer alacaktır. Sonuç olarak, hava trafik kontrolünde yapay zekanın gelişimi, teknolojik inovasyonların yanı sıra hukuki ve etik çerçevedeki yaklaşımların da uyum içinde ilerlemesini gerektirmektedir. Bu alanlarda yapılacak disiplinlerarası çalışmalar, daha güvenli ve etkin hava ulaşımı sağlayacağı öngörülmektedir.

### 8.1. Yapay Zeka ve Etik

Yapay zeka teknolojilerinin hava trafik kontrolünde kullanımı, etik açıdan çeşitli soruları ve sorumlulukları gündeme getirmektedir. Bu uygulamalar, sistemlerin güvenilirliği, adil erişim ve karar alma süreçlerinin şeffaflığı gibi temel etik ilkeleri dikkate almayı gerektirir. Yapay zekanın hatalar yapma veya beklenmedik davranışlar sergileme riski, insan operatörler ve yolcular için ciddi güvenlik endişeleri doğurabilir. Bu noktada, algoritmaların objektiflik ve tarafsızlık ilkelerine uygun geliştirilmesi önemlidir. Ayrıca, yapay zeka

sistemlerinin karar süreçlerinin izlenebilirliği ve denetlenebilirliği sağlanmalı, böylece otomasyonun yanlış kullanımı veya bilgisayar hatalarına karşı önlemler alınmalıdır. Veri gizliliği ve kişisel bilgilerin korunması da etik açıdan büyük önem taşır; sistemler geniş veri setlerine dayanırken, bu verilerin güvenli ve etik kurallara uygun biçimde kullanılması zorunludur. Yasal düzenlemeler ve standartlar, teknolojinin sorumlu bir şekilde uygulanmasını temin etmeli ve yapay zekanın insan kontrolüyle uyum içinde çalışması sağlanmalıdır. Ayrıca, yapay zekanın karar alma süreçlerinde insan gözetiminin devam etmesi, etik sorumlulukların yerine getirilmesinde kritik rol oynar. Bu nedenle, geliştirme ve uygulama aşamalarında etik ilkelerin gözetilmesi, hem teknolojik gelişmelerin hem de toplumsal güvenin sağlanması açısından temel bir gerekliliktir. Sonuç olarak, hava trafik kontrolünde yapay zekanın etik ilkelerle uyumlu kullanımı, teknolojik gelişmelerin güvenli ve adil bir şekilde hayata geçirilmesi açısından vazgeçilmezdir. ICAO (2023)

## 8.2. Yeni Teknolojilerin Entegrasyonu

Yeni teknolojilerin entegrasyonu, hava trafik kontrolünde verimlilik, güvenlik ve operasyonel esneklik açısından kritik bir aşamayı temsil etmektedir. Bu süreçte, yapay zeka tabanlı sistemlerin mevcut altyapılara uyum sağlaması ve entegre edilmesi, çeşitli teknolojik gelişmelerin bir arada kullanılmasını gerektirmektedir. Özellikle sensörler, uydu iletişim sistemleri ve büyük veri analitiği gibi yeniliklerin birlikte çalışabilirliği sağlanarak, operasyonel süreçlerin hızlandırılması ve olası hataların minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Pascanu et al. (2023) Bu entegrasyon sürecinde, yapay zekanın öğrenme yetenekleri kullanılmak suretiyle, gerçek zamanlı karar verme ve karşılaştırma yetenekleri artırılmaktadır. Ayrıca, farklı sistemler arasında veri alışverişi ve uyum sorunlarının çözümüne yönelik protokol ve standartların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yapay zeka algoritmalarının ve teknolojik altyapının uyumlaştırılması, sadece mevcut operasyonların iyileştirilmesini sağlamakla kalmayıp, yeni nesil otonom uçuş ve hava sahası yönetimi uygulamalarının da temelini oluşturmaktadır. Entegrasyonun başarısı, farklı teknolojik çözümlerin bir araya getirilmesi ile birlikte, çalışanların ve ilgili paydaşların bu sistemlerin etkin kullanımına yönelik eğitim ve farkındalık çalışmalarını da içermektedir. Sonuç olarak, yeni teknolojilerin hava trafik kontrolüne entegrasyonu, operasyonların sürdürülebilirliği, güvenliği ve inovasyonu artırmak adına kritik öneme sahiptir ve sektörün geleceğine yön verecek altyapıyı güçlendirmektedir. Zhang & Wei (2020)



## 9. Sonuç

Hava trafik kontrolünde yapay zeka teknolojilerinin kullanımı, sistemlerin verimliliğini artırmak ve güvenliği sağlamak adına önemli gelişmeler sağlamıştır. Günümüzde, otomatik uçuş planlama, iniş-kalkış yönetimi ve hava sahası optimizasyonu gibi temel uygulamalarda yapay zeka algoritmaları başarıyla entegre edilerek insan faktörünün üzerini almasında rol oynamaktadır. Bu sayede, trafik yoğunluğu ve olası acil durumlar daha hızlı analiz edilip, uygun çözüm yolları geliştirilmekte, karar alma süreçleri iyileştirilmektedir. Özellikle makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmaları, uçak takip sistemleri ve hava trafik yönetiminde kritik bir yer tutarak, geçmiş verileri kullanarak olası riskleri tahmin edebilmektedir. Ancak, yapay zekanın havacılık alanındaki geniş uygulama alanına rağmen, siber güvenlik tehditleri ve veri gizliliği gibi önemli riskler de mevcuttur. Bu noktada, sistemlerin siber saldırılara karşı güçlendirilmesi ve kişisel verilerin korunması konularında düzenleyici kurumların katı önlemler alması gerekmektedir. Ayrıca, yasal düzenlemelerdeki belirsizlikler ve etik meseleler, teknolojik gelişmelerin hızına uyum sağlama konusunda engel olabilmektedir. Gelecekte, otonom uçuş sistemlerinin yaygınlaşması ve büyük veri analitikleriyle tahminleme kapasitesinin artırılmasıyla, hava trafiğinde daha güvenli ve etkin bir ortam oluşturulması planlanmaktadır. İnsan-makine işbirliği ise, insana ait sezgi ve karar verme kabiliyetleri ile yapay zekanın veri işleme gücünün birleşmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Tüm bu gelişmeler, hava trafik kontrolünün hem erişilebilirliğini hem de güvenliğini artırmaya devam ederken, teknolojik ve etik açıdan karşılaşılan zorlukların da göz önünde bulundurulması hayati önem taşımaktadır. Zhang & Wei (2020) Sonuç olarak, yapay zekanın hava trafik kontrolündeki kullanımı, hem günümüz uygulamalarını güçlendirmekte hem de geleceğin havacılık sektörünü şekillendirecek kritik bir unsur olmaya devam edecektir.

## Kaynakça

- A Macit (2024). Ege Üniversitesi Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları, Ulaştırma Modlarının Geleceği: Yapay Zekânın Akıllı Ulaşım Sistemlerine Entegrasyonu.
- A Macit (2025). Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Yapay Zekâ ile Havaalanı Rekabet Stratejilerinin Geliştirilmesi: Doğru Prompt Etkili Bir Strateji Sağlar mı?
- A Akturan (2024). Sinop Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Yapay Zekânın İşletme Yönetimi ve Liderlik Üzerindeki Etkileri: Bir Literatür İncelemesi.
- Botez, R., & Lungu, B. (2022). Journal of Aerospace Information Systems. Machine learning applications for conflict detection and resolution in air traffic control, 19(1), 15–30. <https://doi.org/10.2514/1.I010945>
- E Yaşarsoy (2024). Turizm ve Destinasyon Araştırmaları, Researchgate.Net. Dijital Çağda Destinasyon Markalaşması: Algoritmaların Ve Yapay Zekânın Yükselişi.
- Eurocontrol. (2022). Artificial intelligence in air traffic management. Brussels: Eurocontrol (2022). Think Papers Series. <https://www.eurocontrol.int/publication>
- FAA. (2023). AI Integration Strategy for NextGen Systems. Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation.
- Farley, T., & Mohan, S. (2021). NextGen air traffic control systems: Role of AI in enhancing safety and efficiency. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 22(9), 5531–5540. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3041257>
- García-Hernández, L., Royo, P., Pastor, E., & Prats, X. (2023). AI for trajectory prediction in air traffic management: A review. Aerospace, 10(4), 347. <https://doi.org/10.3390/aerospace10040347>
- Hawley, D. (2025, Ekim 3). *When AI takes off: how aviation is becoming smarter and safer*. <https://www.sedgwick.com/blog/when-ai-takes-off-how-aviation-is-becoming-smarter-and-safer>
- H Tanrıverdi, D Usanmaz (2025). Kapadokya Akademik Bakış, Yapay Zekâ Kullanımının Ulaştırma Sektörü Üzerine Etkileri.
- ICAO. (2023). Artificial intelligence in aviation: Challenges and opportunities. International Civil Aviation Organization. <https://www.icao.int> (PDF raporu)
- Kistan, T., Wei, P., Kulkarni, C., Ochieng, W. Y., & Majumdar, A. (2020). Artificial intelligence in air traffic control: A review. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 117, 102648. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102648>

- K Kayalak (2024). Sağlık sektöründe yapay zekâ kullanımında çalışanların algısı ve çalışanlar açısından müşteri deneyimlerinin incelenmesi üzerine nitel bir araştırma.
- M Özden (2024). *Ufuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Endüstri 4.0 Akıllı Havalimanı Yapay Zekâ Uygulamalarının İş Görenler Üzerine Etkilerine Yönelik Bir Araştırma.*
- O Aksoy - 2024 - [acikerisim.gelisim.edu.tr](https://acikerisim.gelisim.edu.tr). Kriz dönemlerinde hava kargo taşımacılığında insansız hava araçlarının kriz yönetimine etkisi.
- Pascanu, R., Morando, M., & Rosso, D. (2023). AI-based decision support for air traffic controllers. *Journal of Safety Science and Resilience*, 4, 100071. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2023.100071>
- YE Seyyar (2025) Ulaştırma ve Altyapı, Ulaşım Sektöründe İot Sistemleri Ve Siber Güvenlik: Tehditler, Saldırılar Ve Korunma Yöntemleri.<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4771736>
- Zhang, J., & Wang, Y. (2021). Deep reinforcement learning for air traffic flow management. *Journal of Air Transport Management*, 94, 102081. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102081>
- Zhang, H., & Wei, X. (2020). A hybrid AI model for real-time conflict prediction in en-route airspace. *Aerospace Science and Technology*, 105, 106002. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106002>

## Havacılık Alanında Dijital Dönüşüm ve Yapay Zekâ: Çalışan Roller, Yetkinlikler ve Etik Sorunlar

Selvi Vural<sup>1</sup>

### Özet

Bu çalışma, havacılık alanında dijital dönüşüm ve yapay zekânın çalışan rolleri, dijital yetkinlikler ve etik sorunlar üzerindeki etkilerini örgütsel davranış perspektifiyle incelemektedir. Dijital dönüşüm, genellikle akıllara teknolojik altyapıya dair değişiklikleri getirmektedir (Faruque vd., 2024). Oysaki bugün örgütsel yapı ve kültürel süreçleri de içeren bir anlayışı gerektirmektedir (Wu vd., 2025). Öte yandan, örgütsel değişim-dönüşüm ile birlikte yapay zekâ uygulamaları, rutin görevlerin otomasyonunu sağlarken çalışanları analitik ve stratejik rollere yönlendirmektedir (Oyekunle ve Boohene, 2024). Buna bağlı olarak rol belirsizliği, psikolojik stres ve adaptasyon ihtiyacı artabilmektedir (Kumar vd., 2024). Bu bağlamda, örgütsel adalet (Greenberg, 1987) ve algılanan örgütsel destek (Eisenberger, 1986) teorileri, çalışanların dijital dönüşüm süreçlerine uyum sağlama, motivasyon ve bağlılık düzeylerinin anlaşılmasında önemli bir çerçeve sunmaktadır. Çalışanların dijital yetkinlikleri ve sürekli öğrenme kapasiteleri, yapay zekâ sistemlerini etkin kullanabilme ve teknolojik adaptasyonu sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Etik liderlik (Brown ve Treviño, 2006) ise, hem teknolojik uygulamaların etik ve değer temelli olmasını sağlamakta hem de çalışan güveni, iş tatmini ve örgütsel bağlılığı desteklemektedir. Ayrıca, veri gizliliği, algoritmik adalet ve sorumluluk dağılımı gibi etik konular, insan-makine iş birliğinin etkinliğinde belirleyicidir. Nihayetinde, havacılıkta dijital dönüşümün başarısı, teknoloji ile insan (çalışan) faktörünün uyumuna ve dengeli yönetilmesine bağlıdır. Adil süreçler, örgütsel destek, etik liderlik, sürekli öğrenme kültürü ve insan-makine iş birliğinin etkin yönetimi, dijital dönüşüm projelerinin sürdürülebilir başarısındaki temel ve etkili unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Gümüşhane Üniversitesi, selvi.vural@gumushane.edu.tr, 0000-0002-3245-8599

## 1. Giriş

Havacılık sektörü, teknolojik gelişmelerin en hızlı ve yoğun yaşandığı alanlardan biridir (Igwevd., 2023). Dijital dönüşüm, esasında hem operasyonel süreçlerin hem de örgütsel yapının, çalışan rollerinin ve karar verme mekanizmalarının yeniden şekillenmesine neden olmaktadır (Hanelt vd., 2021). Bilhassa yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin hava trafik yönetimi, bakım-onarım faaliyetleri, uçuş operasyonları ve müşteri deneyimi gibi alanlarda artan yaygın kullanımının sektörteki köklü dönüşümün itici gücü olduğu vurgulanmaktadır (Moghadasnian ve Rajol, 2025). Örneğin, IATA ve ICAO gibi havacılık otoritelerinin de standartları ve talimatları ile dijital dönüşümün, havayolu işletmelerinde operasyonel güvenlik, sürdürülebilirlik ve insan kaynakları yönetiminde kapsamlı değişimlere yol açtığı açıktır (Pisitkasem ve Pairoj-Boriboon, 2023). Lufthansa, Turkish Technic ve Emirates gibi havacılık sektöründe faaliyet gösteren pek çok işletme yapay zekâ tabanlı bakım sistemleri ve dijital ikiz uygulamalarıyla verimliliği artırmaya çalışmaktadır (Ayeni, 2025).

Öte yandan, teknik sistemler bir yana aslında insan (çalışan) faktörünün, örgütsel adaletin ve etik değerlerin de söz konusu dönüşüm sürecinde yeniden ele alınması kaçınılmazdır. Havacılık sektöründe, dijitalleşen karar alma süreçleri insan-makine etkileşimini büyük ölçüde artırmaktadır. Bu durum, esasında çalışan güveni, adalet algısı ve etik sorumluluklar açısından yeni yönetim modellerini gerekli kılmaktadır (Soomro vd., 2025). Dijital dönüşüm süreci, çalışanların iş rollerini, karar verme sorumluluklarını ve performans değerlendirme biçimlerini değiştirebilmektedir (Bindel Sibassaha vd., 2025). Nitekim, bu değişimin algılanma biçimi örgütsel adalet teorisiyle yakından ilişkilidir (Greenberg, 1987). Çalışanlar, dijital sistemlerin getirdiği otomasyon ve algoritmik denetim süreçlerini adil bulmadıkları durumlarda örgütsel bağlılıkları ve motivasyonları bundan olumsuz etkilenebilmektedir (Cram vd., 2022). Bazı havayolu işletmelerinde vardiya planlamasının algoritmalarla yapılması ve çalışanlar arasında sistem adaleti tartışmalarını gündeme getirmesi bunun bir örneğidir.

Bununla birlikte, algılanan örgütsel destek (Eisenberger, 1986), dijital dönüşüm sürecinde çalışanların yeniliklere uyum göstermesinde belirleyici olabilmektedir. Çalışanlar, örgütlerinden destek gördüklerinde yapay zekâ sistemlerine adaptasyonu kolaylaşabilmekte ve teknolojiyle iş birliğine dayalı bir tutum geliştirdikleri belirtilmektedir (Morandini vd., 2023). Bu kapsamda, Emirates Airlines ve Qatar Airways gibi havacılığın önde gelen işletmelerinin de içerisinde yer aldığı hava taşımacılığı sektöründe bugün dijital eğitim platformları ve simülasyon tabanlı öğrenme programları

aracılığıyla çalışanların dijital yeterliliklerini büyük ölçüde artırmak hedeflemektedir (Talib vd., 2025).

Öte yandan, bugün yapay zekâ uygulamalarının karar alma-verme süreçlerinde artan rolüne bağlı olarak etik liderlik (Brown ve Treviño, 2006) perspektifinden de konunun ele alınması gerekmektedir. Çünkü havacılık alanında dijital dönüşüm ve yapay zekânın getirdiği fırsatlar ya da kolaylıklar aslında bir taraftan etik sorumluluk, insan merkezlilik ve adalet ilkelerini de tartışmanın merkezine yerleştirmektedir (Trstenjak vd., 2025). Uçuş güvenliği, bakım süreçlerinde veri paylaşımı ve yolcu bilgilerinin aktarımı ya da kullanımı konularında etik liderlik ilkeleri, karar vericiler açısından hayati öneme sahiptir. Bu bağlamda, etik liderler teknolojik kararların insani ve değer temelli sonuçlarını dikkate alarak hem çalışan güvenini hem de örgütün bütünlüğünü koruyabilmektedir (Prasetya ve Zaakiyyah, 2024).

Nihayetinde, bu çalışma havacılık alanında dijital dönüşüm ve yapay zekâ süreçlerinin örgütsel davranış perspektifinden ele alınmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda; dijital dönüşümün boyutları, yapay zekânın çalışan rolleri üzerindeki etkileri, dijital yetkinlikler ve sürekli öğrenme kültürünün önemi ile etik sorunlar ve insan faktörüne ilişkin tartışmalar bütüncül biçimde değerlendirilecektir. Dahası, havacılık sektörüne özgü insan-makine etkileşiminde dengeli yönetim yaklaşımı, sektörün sürdürülebilir başarısı ve çalışan refahı açısından kapsamlı bir tartışma yürütülecektir.

## 2. Havacılıkta Dijital Dönüşüm: Boyutlar ve Uygulamalar

Yazın incelendiğinde, dijital dönüşümün boyutlarına ilişkin yapılan araştırmalarda farklı sektörlere ve alanlara özgü çeşitli tanımlamalara rastlanmaktadır (Abbu vd.,2022; Kao vd., 2024; Baihaqy ve Subriadi, 2025). Bu araştırma kapsamında, yalnızca havacılık alanına özgü bir çerçeve sunulmaktadır. Dijital dönüşüm, havacılık alanında yaşanan teknolojik bir değişimin ötesinde örgütsel süreçlerin, iş akışlarının ve çalışan rollerinin bütüncül olarak yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir (Nour ve Arbussà, 2024). Dolayısıyla, teknolojik, örgütsel yapı ve süreçler, beşerî (insan kaynakları) ve kültürel olmak üzere üç ayrı boyutu ile havacılık alanında yaşanan bu dönüşüm incelenmektedir. Bu çerçeve, ICAO (2023)'nın Dijital Havacılık Stratejisi ve EASA (2024)'nın Akıllı Havacılık Uygulamaları Raporu'nda vurgulanan örgütsel dönüşüm temalarıyla da örtüşmektedir. Bilhassa dijital dönüşümün havalimanı yönetimi, uçuş operasyon planlaması ve bakım-onarım süreçlerine yansıyan örgütsel etkileri bu üç boyutta somut biçimde gözlemlenmektedir.

## 2.1. Havacılıkta Dijital Dönüşümün Teknolojik Boyutu

Havacılıkta dijitalleşme, yapay zekâ tabanlı sistemlerin, büyük veri analitiğinin, IoT sensörlerinin ve otonom kontrol sistemlerinin entegrasyonunu içermektedir (Ebrahimi vd., 2025). Bu sistemler; rota optimizasyonu, risk analizleri, hava trafik yönetimi, bakım ve onarım tahmini gibi kritik operasyonel süreçleri desteklemektedir (Kabashkin ve Shoshin, 2024; Alketbi vd., 2024). Dijital dönüşümün teknolojik boyutu, örgütün verimlilik ve güvenlik hedeflerini doğrudan etkilemekte çalışanların da bu sistemlere entegre edilmesini ve dijital yetkinliklerini geliştirmesini gerektirmektedir (Shang vd., 2025). Örneğin, Lufthansa Technik'in prediktif bakım sistemleri ve THY Teknik'in yapay zekâ destekli arıza analizi uygulamaları, insan hatasını azaltarak operasyonel güvenliği artırmaktadır (IATA, 2024). Benzer şekilde, Singapur Changi Havalimanı'nda dijital ikiz (digital twin) sistemleri, bakım ve yolcu akışı süreçlerinin simülasyon tabanlı yönetimini mümkün kılmaktadır (Tran vd., 2025).

## 2.2. Havacılıkta Dijital Dönüşümün Örgütsel Yapı ve Süreçler Boyutu

Öncelikle dijital dönüşümün bu boyutu, örgütsel yapı unsurları ve süreçler üzerindeki belirleyiciliğiyle dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, yaşanan dönüşüm havacılık örgütlerinde yatay iletişimi artırarak karar alma süreçlerini hızlandırmakta, çalışan rolleri ve sınırlılıklarını yeniden tanımlayan birtakım yapısal değişikliklere neden olmaktadır (Opuala-Charles, 2025). Günümüzde, birçok havayolu işletmesinde yapay zekâ destekli operasyon merkezlerinin kurulması ile geleneksel hiyerarşik yapıların yerini daha çevik ve veri odaklı yönetim biçimleri almaktadır (Moghadasian ve Rajol, 2025). Örneğin; Delta Airlines (Yazıcı, 2024) ve Turkish Airlines (Okan ve Aksoy, 2022) gibi havayolu işletmeleri de bu kapsamda uçuş operasyon kararlarını, veri tabanlı ekip koordinasyon sistemleriyle yeniden yapılandırmaktadır. Yaşanan dönüşüme bağlı olarak çalışanların olumsuz tutum geliştirmeleri de olasıdır (Klein vd., 2024). Fakat çalışanların, görev dağılımları ve performans değerlendirmelerine yönelik adalet algıları güçlüyse, dönüşüm sürecine verdiği tepkilerin de daha olumlu olduğu anlaşılmaktadır (Bindel Sibassaha vd., 2025). Örgütsel adalet teorisi (Greenberg, 1987) bu durumun önemli bir açıklayıcısıdır. Bir örgütte tüm süreçlerde adil ve şeffaf işleyişin varlığı, örgütsel bağlılık ve çalışan motivasyonu gibi pozitif çıktılara yol açmaktadır (Turnawan vd., 2024). Daha spesifik temelde havacılık sektöründe, algoritmik vardiya planlamaları, performans izleme sistemleri ve uçuş görev dağılımlarında adalet ilkelerinin korunması ise çalışanların dijital dönüşüme



ilişkin güvenini ve adaptasyon eğilimini artırmaktadır (Yıldız ve Mazıoğlu, 2025).

### 2.3. Havacılıkta Dijital Dönüşümün Beşerî ve Kültürel Boyutu

Dijital dönüşümün başarısı, örgüt kültüründe öğrenme ilkesine ve beşerî sermayemiz olan çalışanların yeniliğe açıklık kapasitesine bağlıdır (Alshammari vd., 2024). Bu boyut, çalışanların sürekli öğrenme, problem çözme ve yeni teknolojilere uyum sağlama yetkinlikleri üzerinde durmaktadır (Mele vd., 2024). Havacılık sektöründe bu süreç; havayolu operasyonu, yer-yolcu hizmetleri, teknik personel, kabin ve kokpit ekibi gibi çeşitli faaliyet alanlarında görevli çalışanla adına dijital eğitim modüllerinin yaygınlaştırılmasıyla görünür kılınmaktadır. Örneğin, EASA (2024)'nın 'Digital Skills in Aviation' raporu, Avrupa'daki havacılık işletmelerinin yapay zekâ destekli eğitim simülasyonlarını insan faktörü odağında yeniden tasarladığını göstermektedir. Bu noktada, algılanan örgütsel desteğin (Eisenberger, 1986) önemi anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak, çalışanlar açık bir biçimde eğitim, rehberlik, geri bildirim vb. şekillerde desteklendiklerini hissettiklerinde dijital dönüşüm süreçlerine daha fazla ölçüde katılım göstermekte, iş birliği yapma konusundaki istekliliğinde artış görülmekte ve insan-makine eşleşmesindeki uyum çabasının pekiştiği düşünülmektedir (Krishnan vd., 2024). Neticede, hatalardan ders çıkarma ve yenilikçi uygulamaları teşvik eden bir iş ortamı oluşturma-sürdürme kültürünün benimsenmiş olması dijital dönüşümdeki başarının temel dayanağıdır (Steiber ve Alvarez, 2025). Bu bağlamda, Singapur Airlines (Boulesnam vd., 2025) ve Etihad Airways (Heiets vd., 2019) gibi işletmeler, dijital dönüşüm projelerinde çalışan katılımını teşvik eden iç inovasyon programları başlatmış olup bu programların, çalışanların teknolojik değişime adaptasyon eğilimini artırarak örgütsel öğrenme kültürünü pekiştirdiğine ve güçlendirdiğine inanılmaktadır.

### 3. Havacılıkta Yapay Zekâ ve Çalışan Rollerinin Yeniden Tanımlanması

Yapay zekâ teknolojilerinin havacılık alanındaki kullanımı her geçen gün artan ölçüde yaygınlaşmaktadır. Buna bağlı olarak, çalışanların rolleri, bu rollerin niteliği ve iş süreçleri yeniden yapılandırılmaktadır (Talib vd., 2025). Örneğin, havalimanı yer hizmetlerinde yolcu akış yönetimi, güvenlik tarama süreçleri, bagaj yönlendirme sistemleri gibi pek çok operasyon artık yapay zekâ algoritmalarıyla desteklenmekte ve bu durum işletmelere operasyonel hız ve doğrulukta önemli kazanımlar sağlayabilmektedir (Amiri ve Kuşakçı, 2024). Bilhassa uçuş operasyonları, bakım planlaması ve veri analitiği gibi

sahaya özgü kritik alanlarda, yapay zekâ destekli otomasyon ve karar sistemleri çalışanların rutin görevlerinde farklı bir işleyişe yol açmakta (Moghadasian ve Rajol, 2025) bu durum ise hem teknolojik hem de psikolojik ve örgütsel bir adaptasyon sürecini zorunlu kılmaktadır (Rizkina vd., 2025).

Bugün sadece havacılık değil pek çok alanda yapay zekâ tabanlı sistemler, rutin ve tekrarlayan görevleri otomatikleştirerek çalışanları daha analitik ve stratejik görevler üstlenmeye sevk etmektedir (Tan vd., 2025). Havayolu işletmeleri bu bağlamda uçuş rotalarının optimize edilmesi, yakıt tüketiminin azaltılması ve kabin içi hizmetlerin kişiselleştirilmesi gibi alanlarda yapay zekâ (YZ) tabanlı karar destek sistemlerinden yararlanmaktadır (Rosenow vd., 2022). Bu değişim-dönüşüm haliyle iş tanımlarının yeniden yapılandırılmasında ve rol sınırlarının yeniden çizilmesinde etkili olabilmektedir (Sundari vd., 2024). Öte yandan, çalışanlar açısından stres, belirsizlik ve motivasyon kaybı gibi birtakım olumsuz psikolojik etkiler de yaratabilmektedir (Chang vd., 2024). Örgütsel adalet teorisine göre (Greenberg, 1987), çalışanlar görevlerin ve sorumlulukların adil bir biçimde dağıtıldığını ve performanslarının objektif ölçüldüğünü algıladıklarında aslında yaşanabilecek olumsuz etkiler daha az ölçüde hissedilmektedir.

Yapay zekâ ile çalışanlar, “insan-makine iş birliği” çerçevesinde yeni rol kimlikleri geliştirmektedir (Guo vd., 2025). Örneğin, hava trafik kontrolörlerinin karar destek sistemleriyle koordineli biçimde çalışması (Dönmez, 2024) veya bakım teknisyenlerinin arıza tahmin sistemlerinden gelen uyarılara göre aksiyon alması (Kabashkin vd., 2025) bu yeni rol kimliklerinin tipik örneklerindendir. Söz konusu yeni roller, önceki iş tanımlarından farklı olarak çalışanlara karar verme süreçlerinde daha fazla bilişsel yük ve sorumluluk getirmektedir (Gupta vd., 2025). Etik liderlik yaklaşımı (Brown ve Treviño, 2006) bu süreçte kritik bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda, yapay zekanın karar alma süreçlerindeki etkililiğine karşın çalışanların özerkliğinin korunması, etik ve değer odaklı bir yaklaşımın benimsenerek sürdürülmesi esastır (Kern vd., 2024). Bu noktada, bilhassa kaptan pilotlar ve bakım mühendisleri gibi yüksek riskli pozisyonlarda görev yapan çalışanlar için geliştirilen etik karar senaryoları ve yapay zekâ (YZ) destekli eğitim simülasyonları, hem insan hatasını azaltmakta hem de etik farkındalığı artırmaya yardımcı olmaktadır (Ziakkas vd., 2025). Eğitim programları, mentorluk ve simülasyon gibi örgütsel pratikler ise çalışanların yapay zekâya uyumunu büyük ölçüde hızlandırmakta ve kolaylaştırmaktadır (Sposato, 2024).

#### 4. Havacılıkta Dijital Dönüşüme Uyum: Çalışan Yetkinlikleri ve Öğrenme Kültürü

Bugün çoğu sektörde, alanda ve örgütte dijital dönüşüm ve yapay zekâ uygulamalarının başarısı, bir taraftan teknolojik altyapı desteğine diğer taraftan da çalışanların taşıdığı dijital yetkinliklere ve sürekli öğrenme kültürüne bağlıdır (Mamanazarov vd., 2025). Havacılık sektörü açısından bu durum, bilhassa uçuş emniyeti, operasyonel verimlilik ve müşteri deneyimi süreçlerinde insan faktörünün teknolojiyle uyum kapasitesiyle doğrudan ilişkili bulunmaktadır (Ganzola, 2024). Havacılık alanında, yaşanan kayda değer ilerlemeler dikkate alındığında veri analitiği, yapay zekâ tabanlı bakım tahmini ve uçuş optimizasyonu gibi alanlarda çalışanların teknik ve analitik açıdan yeterlilikleri büyük önem taşımaktadır (Kabashkin ve Shoshin, 2024). Nitekim, Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.'nin bakım planlama süreçlerinde YZ destekli tahminleme modellerini uygulamaya başlaması ile birlikte çalışanların veri analitiği ve otomasyon sistemleriyle etkileşim becerilerinin geliştirilmesini zorunlu kılması bu durumun önemli bir açıklayıcısıdır (Pınar, 2022). Çalışanların, yapay zekâ sistemlerini doğru ve etkin biçimde kullanabilmesi için veri okuryazarlığı, temel makine öğrenmesi bilgisi ve otomasyon sistemleriyle etkileşim yeteneği kazanması gerekmektedir (Chiu vd., 2024).

Algılanan örgütsel destek teorisi (Eisenberger, 1986), çalışanların konuya ilişkin eğitim ve rehberlik aldıklarını hissetmeleri durumunda öğrenme süreçlerinin güçlendirilebileceğini ileri sürmektedir. Garvin (1994)'in öğrenen örgütler teorisi temelinde sürekli öğrenme kültürü ise, hatalardan ders alma ve deneyimlerden çıkarımda bulunma gerekliliğini savunmaktadır. Havacılık eğitim merkezlerinde (örneğin Lufthansa Aviation Training veya Turkish Airlines Flight Academy) kullanılan sanal gerçeklik (VR) simülasyonları, hem teknik öğrenmeyi hem de hata yönetimi becerilerini geliştiren uygulamalara örnek olarak gösterilebilir. Bu bağlamda, yöneticilerin aslında çalışanların gelişimini önemseyen, hataların öğrenme fırsatına dönüştürülmesine izin veren ve şeffaf iletişimle geri bildirim sağlayan bir yaklaşım sergilemesi önem taşımaktadır (Rony vd., 2025). Çünkü hem yeniliğe açık hem de hatalardan ders çıkarma kültürünü destekleyen bir örgüt iklimi, çalışan motivasyonu ve iş birliği üzerinde olumlu etki yaratmaktadır (Zhang, 2024). Örneğin, Emirates ve Singapore Airlines gibi havayolu işletmelerinde dijital öğrenme platformlarının kullanılması, çalışanların kişisel gelişim hızını ve örgütsel bağlılığını arttırmaktadır (Gouda, 2024). Bu bilgiler ışığında, örgütsel paradigmaya, kültürel değerlere ve yönetsel yaklaşıma bağlı olarak havacılık alanında yeni teknolojilere uyumun kolaylaştırılabileceğine ve dijital dönüşüme yönelik pozitif tutumların geliştirilebileceğine inanılmaktadır.

## 5. Havacılıkta Yapay Zekâ Uygulamalarının Etik Boyutu

Yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşmasıyla havacılık sektöründe operasyonel verimliliğin (Moghadassian ve Rajol, 2025) yanı sıra etik ve insan odaklı sorumluluk konuları da gündeme gelmektedir (Passalacqua vd., 2025). Havacılık alanında, bilhassa otomatik karar sistemlerinin hataları, önyargılı algoritmalar, veri gizliliğine yönelik eksiklikler veya noksanlıklar gerek çalışanlar gerekse de yolcular üzerinde ciddi olumsuz sonuçlar yaratabilmektedir (Kirwan, 2024; Olaganathan, 2024). Bu bağlamda, yapay zekâ uygulamalarının etik sınırlarının belirlenmesi, çalışanların bu sistemlere duyduğu güvenin güçlendirilmesi ve insan-merkezli bir örgüt kültürünün korunması, dijital dönüşümün sürdürülebilir başarısı için hayati önem arz etmektedir (Martini vd., 2024). Havacılık sektörü açısından bu durum, uçuş operasyon merkezlerinde yapay zekâ tabanlı rota planlama sistemlerinin pilotların kararlarını ne ölçüde etkilediği, bakım-onarım birimlerinde tahmine dayalı algoritmaların mühendislerin teknik değerlendirmeleriyle nasıl entegre edildiği gibi somut uygulamalarda gözlemlenmektedir (Hassan vd., 2024). Ayrıca, havalimanı güvenliği ve yolcu akış yönetimi süreçlerinde yapay zekâ destekli gözetim sistemlerinin etik sınırlarının belirlenmesi, hem çalışan güvenliği hem de veri gizliliği açısından yöneticilerin stratejik bir sorumluluğu olarak görülmektedir (Werts, 2024).

Yapay zekâ destekli karar sistemlerinde sorumluluk dağılımı kritik bir etik ikilem oluşturabilmektedir (Karakuş vd., 2025). Çalışanlar, sorumluluklarını net bir biçimde algılamadıklarında stres ve motivasyon kaybı yaşayabilmektedir (Gagné ve Hewett, 2025). Örgütsel adalet teorisi (Greenberg, 1987), bu noktada çalışanların rol ve sorumluluk dağılımında adil bir yaklaşım geliştirmesini sağlayarak olumsuz etkileri azaltabilmektedir. Öte yandan, veri gizliliği, algoritmik adalet ve şeffaflık, etik sorumluluğun temel unsurları arasında yer almaktadır (Radanliev, 2025). Bu bağlamda, etik liderlik (Brown ve Treviño, 2006) yaklaşımı çalışanların güvenliğini ve örgütsel bütünlüğü korumadaki rolüyle bu durumun temel açıklayıcısıdır. İnsan-makine uyumunun veya iş birliğinin etkinliği, çalışan rollerinin net bir biçimde tanımlanabilmesi ve mesleki özerkliğin korunabilmesi için etik bir yaklaşımın benimsenmesi esastır (Magliocca vd., 2025). Örneğin, Avrupa'daki bazı havayolu işletmelerinde uçuş veri analizi sistemleri ile kaptan pilotların manuel karar süreçleri arasında kurulan denge, etik liderliğin ve adil sorumluluk paylaşımının örgüt kültürüne nasıl yansıdığını göstermektedir (Westphal, 2022). Nitekim benzer biçimde, bakım planlama yazılımlarında algoritmik önyargıların azaltılabilmesi adına şeffaf veri politikalarının uygulanması, havacılıkta dijital dönüşümün insan merkezli bir çerçevede sürdürülmesini sağlamaktadır (Shneiderman, 2020).

## 6. Küresel Ölçekte Havacılıkta Dijital Dönüşüm Uygulamaları

Dijital dönüşüm süreci, dünya genelinde havayolu işletmelerinin yönetim anlayışını köklü biçimde değiştirmektedir (Vadisetty vd., 2024). Lufthansa, Delta Airlines ve Singapore Airlines gibi öncü havayolları, yapay zekâ (YZ) tabanlı sistemleri operasyonel verimlilikten insan kaynakları yönetimine kadar pek çok alanda uygulamaya koymaktadır (Moghadasnian ve Rajol, 2025). Örneğin; Lufthansa Teknik tarafından geliştirilen “AVIATAR” platformu, uçaklardan gelen büyük veriyi analiz ederek arıza tahminlerinde bulunmakta ve bakım süreçlerini optimize etmektedir. Bu uygulama, çalışanların teknik rollerini “veri analizi temelli karar verici” konumuna taşımakta ve örgüt içinde öğrenme kültürünü güçlendirmektedir. Dolayısıyla dijital dönüşüm hem operasyonel düzeyde hem de çalışanların rol kimliği ve mesleki yetkinlikleri açısından köklü bir değişim yaratmaktadır (Faruque vd., 2024).

Singapore Airlines ise, “KrisLab” inovasyon programı aracılığıyla yapay zekâ destekli yolcu deneyimi sistemleri geliştirmekte ve müşteri tercihlerini analiz ederek kişiselleştirilmiş hizmet önerileri sunmaktadır. Bu sistemler, kabin ekiplerine yolcu ihtiyaçlarına ilişkin gerçek zamanlı veri sağlamak ve hizmet süreçlerinin daha etkin yürütülmesine katkıda bulunmaktadır (More ve Shrivastava, 2025). Bahse konu dönüşüm, kabin çalışanlarının hizmet rollerini “dijital etkileşim yöneticisi” konumuna taşımakta ve duygusal emeğin dijital araçlarla yeniden yapılandırılmasına yol açmaktadır. Örgütsel davranış perspektifinden bakıldığında, bu tür dönüşümler çalışanlarda öğrenme yöneliminin ve algılanan örgütsel destek düzeyinin güçlenmesine katkı sağlamaktadır (Eisenberger vd., 1986; Igwe vd., 2023).

Emirates havayolları da yapay zekâ ve biyometrik teknolojileri entegre ederek havalimanı süreçlerinde dijitalleşmenin sınırlarını genişletmektedir. “Biometric Path” sistemi, yüz tanıma teknolojisi aracılığıyla pasaport ve biniş işlemlerini otomatikleştirerek çalışanların iş yükünü azaltmaktadır (Binder vd., 2021). Bununla birlikte, bu tür uygulamalar etik liderlik ve veri gizliliği açısından yeni sorumluluk alanları yaratmaktadır. Bilhassa biyometrik verilerin korunması, adil kullanım ilkeleri ve çalışan mahremiyeti konularında yöneticilerin etik karar alma süreçleri önem kazanmaktadır (Iqbal, 2023). Bu durumda, dijitalleşmenin teknik bir yenilik olmanın da ötesinde örgüt içinde etik duyarlılık gerektiren bir yönetsel dönüşüm süreci olduğu anlaşılmaktadır.

Qatar Airways ve British Airways gibi havacılığın önde gelen işletmeleri de rota planlaması, yakıt optimizasyonu ve müşteri hizmetleri gibi çeşitli alanlarda yapay zekâ teknolojilerinden yararlanmaktadır (Mohamed ve Al-Azab, 2021; Srivastava vd., 2025). Qatar Airways’in geliştirdiği akıllı

rota planlama sistemleri, karbon emisyonlarını azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır (Srivastava vd., 2025). British Airways'ın sanal asistan sistemleri ise çalışanlara uçuş öncesi bilgi desteği sunmaktadır (Mohamed ve Al-Azab, 2021). Bu tür uygulamalar, dijitalleşmenin yalnızca verimlilik sağlamadığını, aynı zamanda örgütsel adalet, çalışan refahı ve etik sorumluluk boyutlarını da derinleştirdiğini açık bir biçimde ortaya koymaktadır (Greenberg, 1987; Passalacqua vd., 2025). Neticede, küresel ölçekte havacılık alanındaki örnek uygulamalara bakılırsa, dijital dönüşümün başarısı teknolojik altyapıdan ziyade bir anlamda çalışanların öğrenme, uyumlanma ve etik karar alma kapasitelerine dayanmaktadır.

## 7. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, havacılık alanında dijital dönüşüm ve yapay zekâ teknolojilerinin örgütsel yapı, çalışan rolleri, dijital yetkinlikler ve etik sorunlar üzerindeki etkilerini ele almaktadır. Buna bağlı olarak, dijital dönüşümün teknolojik yenilenmenin ötesinde; kültürel, beşerî ve etik düzlemde bir yeniden yapılanma süreci niteliği taşıdığı anlaşılmaktadır (Wu vd., 2025; Nour ve Arbussà, 2024). Yapay zekâ tabanlı sistemlerin operasyonel kararlarda giderek daha fazla rol üstlenmesi, çalışan rollerinde belirgin dönüşümler yaratmaktadır. Bu durum ise hem yeni fırsatlar hem de çeşitli güçlükler doğurmaktadır (Guo vd., 2025). Havacılık sektöründe bu dönüşüm; uçuş planlama, bakım-onarım yönetimi ve yolcu operasyonlarında dijital karar destek sistemlerinin artan etkisiyle daha görünür bir hal almaktadır (Moghadasian ve Rajol, 2025). Örneğin, uçuş operasyon merkezlerinde yapay zekâ tabanlı rota optimizasyon sistemleri, karar süreçlerinde insan faktörünü tamamlayıcı bir unsur olarak yeniden konumlandırmaktadır. Bu durum, yöneticilerin insan-makine iş birliğini dengeli biçimde yönetme becerilerini ön plana çıkarmaktadır (Kirwan, 2025).

Örgütsel adalet (Greenberg, 1987) ve algılanan örgütsel destek (Eisenberger, 1986) teorileri, dijital dönüşümün çalışanlar tarafından nasıl algılandığını anlamada ve yorumlamada önemli bir kuramsal dayanaktır. Görev, sorumluluk ve performans değerlendirmelerinde adalet algısının güçlendirilmesi, dönüşüm sürecine yönelik direnci azaltarak iş birliğini artırmaktadır (Turnawan vd., 2024). Bununla birlikte, etik liderlik (Brown ve Treviño, 2006) yaklaşımı, karar süreçlerinde değer temelli bir yönelim benimsenmesini, şeffaflığın korunmasını ve insan unsurunun merkeze yerleştirilmesini sağlayarak örgütsel bütünlüğü sağlamada önemli rol oynamaktadır (Trstenjak vd., 2025). Havacılık sektöründe bu denli bir yaklaşım, kaptan pilotlardan bakım yöneticilerine kadar geniş bir çalışan grubunda güven kültürünün oluşturulmasını desteklemekte, aynı zamanda



uçuş güvenliği, risk yönetimi ve yolcu memnuniyeti süreçlerinde etik karar alma ilkelerinin kurumsal düzeyde benimsenmesini kolaylaştırmaktadır (Prasetya ve Zaakiyyah, 2024).

Havacılık sektöründe dijital dönüşümün sürdürülebilirliği, çalışanların dijital yetkinliklerinin geliştirilmesi (Shang vd., 2025), sürekli öğrenme kültürünün kurumsallaşması (Garvin, 1994) ve etik farkındalığın güçlendirilmesine bağlıdır (Mele vd., 2024). Bu kapsamda örgütlerin eğitim programlarına, mentorluk sistemlerine ve dijital beceri geliştirme platformlarına yatırım yapılması önem taşımaktadır (Sposato, 2024). Örneğin, bugün havalimanlarında dijital kule sistemleri veya uzaktan bakım teknolojilerinin kullanımı, çalışanların hem teknik hem de analitik becerilerini geliştirecek sürekli eğitim stratejilerinin artan önemini ortaya koymaktadır (Poulaki vd., 2021). Öteki taraftan, ICAO ve EASA tarafından desteklenen dijital güvenlik eğitimleri, havacılık örgütlerinde öğrenen organizasyon kültürünün güçlendirilmesine büyük ölçüde katkı sağlamaktadır (Park, 2025). Ayrıca veri gizliliği, algoritmik adalet ve sorumluluk paylaşımı konularında açık politikaların benimsenmesi, çalışan güvenliğini artırarak yapay zekâ kaynaklı etik riskleri azaltmaktadır (Radanliev, 2025; Karakuş vd., 2025).

Havacılık sektöründe dijital dönüşüm ve yapay zekâ süreçlerinin örgütsel davranış perspektifinden ele alınması, teknolojik gelişmelerle birlikte insan faktörünün ve etik değerlerin de dikkate alınmasını gerektirmektedir. Dijital dönüşümün başarısı, teknik altyapının geliştirilmesinden ziyade çalışanların adil, şeffaf ve destekleyici bir örgütsel ortamda sürece aktif biçimde katılmalarına bağlıdır (Eisenberger, 1986; Greenberg, 1987). Etik liderlik, bu süreçte değer temelli karar alma ve güven inşasında kritik bir rol oynayarak, çalışan bağlılığının ve örgütsel bütünlüğün korunmasına katkı sağlamaktadır (Brown & Treviño, 2006; Prasetya ve Zaakiyyah, 2024). Havacılık işletmelerinde, uçuş emniyet ve güvenliği kültürünün sürekliliği altında sorumlu yöneticilerin etik liderlik ilkelerini operasyonel karar alma süreçlerine sistematik biçimde dâhil etmelerine bağlıdır (Özkan vd., 2024). Bilhassa uçuş emniyeti, yolcu güvenliği ve kriz yönetimi gibi alanlarda etik liderliğin uygulanması, dijital sistemlerle insan merkezli kararların dengeli biçimde bütünleşmesine yardımcı olmaktadır (Asata vd., 2023).

Sürekli öğrenme kültürünün yerleşmesi ve dijital yetkinliklerin geliştirilmesi ise hem çalışanların teknolojik adaptasyon kapasitesini artırmakta hem de örgütlerin yenilikçi potansiyelini desteklemektedir (Garvin, 1994; Mele vd., 2024). Adil süreçler, güçlü örgütsel destek, etik liderlik ve dengeli insan-makine iş birliği, dijital dönüşüm projelerinin



sürdürülebilir başarısı için bütüncül bir temel sunmaktadır. Nihayetinde, bu yaklaşımların benimsenmesi hem çalışan refahını hem de örgütsel performansı güçlendirerek havacılık sektöründe dijital dönüşümün uzun vadeli sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır (Radanliev, 2025; Karakuş vd., 2025). Havacılık alanına özgü daha spesifik bir biçimde ifade etmek gerekirse; dijitalleşme politikalarının teknolojik yatırımlardan ziyade örgüt kültürü, çalışan yetkinlikleri, etik liderlik ve yönetim yaklaşımı ile birlikte tasarlanması gerektiğine inanılmaktadır. Bu doğrultuda, gelecek araştırmalarda havayolu işletmeleri, hava trafik yönetimi ve havalimanı organizasyonları açısından yapay zekâ uygulamalarının ampirik olarak incelemesi önerilmektedir.

## Kaynakça

- Abbu, H., Mugge, P., Gudergan, G., Hoeborn, G., & Kwiatkowski, A. (2022). Measuring the human dimensions of digital leadership for successful digital transformation. *Research-Technology Management*, 65(3), 39–49.
- Ahsan, M. J. (2025). Cultivating a culture of learning: The role of leadership in fostering lifelong development. *The Learning Organization*, 32(2), 282–306.
- Alketbi, M. A., Dweiri, F., & Dalalah, D. (2024). The role of artificial intelligence in aviation construction projects in the United Arab Emirates: Insights from construction professionals. *Applied Sciences*, 15(1), 110–137.
- Alshammari, K. H., Alshallaqi, M., & Al-Mamary, Y. H. (2024). Digital transformation dilemma in the era of changing dynamics: How organizational culture influences the success of digital transformation. *Human Systems Management*, 43(4), 455–472.
- Amiri, M. A., & Kuşakcı, A. O. (2024). A scoping review of artificial intelligence applications in airports. *Comput. Res. Prog. Appl. Sci. Eng. Trans. Ind. Eng*, 10, 2900.
- Asata, M. N., Nyangoma, D., & Okolo, C. H. (2023). Human-Centered Design in Inflight Service: A Cross-Cultural Perspective on Passenger Comfort and Trust. *Gyanshauryam, International Scientific Refereed Research Journal*, 6(3), 214-233.
- Ayeni, O. (2025). Integration of Artificial Intelligence in predictive maintenance for mechanical and industrial engineering. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 7(3), 1-23.
- Baihaqy, A., & Subriadi, A. P. (2025). Development of digital transformation model in hospital. *Technological Sustainability*, 4(1), 1–29.
- Bindel Sibassaha, J. L., Pea-Assounga, J. B. B., & Bambi, P. D. R. (2025). Influence of digital transformation on employee innovative behavior: Roles of challenging appraisal, organizational culture support, and transformational leadership style. *Frontiers in Psychology*, 16, 1532977.
- Binder, S., Iannone, A., & Leibner, C. (2021). Biometric technology in “no-gate border crossing solutions” under consideration of privacy, ethical, regulatory and social acceptance. *Multimedia Tools and Applications*, 80(15), 23665-23678.
- Brown, M. E., & Treviño, L. K. (2006). Ethical leadership: A review and future directions. *The Leadership Quarterly*, 17(6), 595–616.
- Boulesnam, M., Hocini, O., & Rezazi, I. (2025). Corporate environment responsibility in Singapore Airlines 2015-2024. *Revue de Recherches et Etudes Scientifiques*, 19(1), 835-854.

- Chang, P. C., Zhang, W., Cai, Q., & Guo, H. (2024). Does AI-driven technostress promote or hinder employees' artificial intelligence adoption intention? A moderated mediation model of affective reactions and technical self-efficacy. *Psychology Research and Behavior Management*, 413–427.
- Chiu, T. K., Ahmad, Z., Ismailov, M., & Sanusi, I. T. (2024). What are artificial intelligence literacy and competency? A comprehensive framework to support them. *Computers and Education Open*, 6, 100171.
- Cram, W. A., Wiener, M., Tarafdar, M., & Benlian, A. (2022). Examining the impact of algorithmic control on Uber drivers' technostress. *Journal of Management Information Systems*, 39(2), 426–453.
- Dönmez, K. (2024). Airport Ground Optimizer (AGO): A decision support system initiative for air traffic controllers with optimization and decision-aid algorithms. *Journal of Air Transport Management*, 119, 102648.
- EASA. (2024). *Smart Aviation Applications and Organizational Transformation Report*. European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/>, (Erişim Tarihi: 02.11. 2025)
- Ebrahimi, S., Chen, J., Bridgelall, R., Szmerekovsky, J., & Motwani, J. (2025). Unlocking the commercialization of SAF through integration of Industry 4.0: A technological perspective. *Sustainability*, 17(16), 7325.
- Eisenberger, R., & Huntington, R. (1986). Perceived organizational support. *Journal of Applied Psychology*, 71(3), 500–507.
- Faruque, M. O., Chowdhury, S., Rabbani, G., & Nure, A. (2024). Technology adoption and digital transformation in small businesses: Trends, challenges, and opportunities. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 6(10), 36948.
- Gagné, M., & Hewett, R. (2025). Assumptions about human motivation have consequences for practice. *Journal of Management Studies*, 62(5), 2098–2124.
- Gonzalo, J. O. (2024). Digital transformation in aviation education: A review of ict tools and Techniques. *American Journal of Education and Technology*, 3(3), 63-70.
- Garvin, D. A. (1994). Building a learning organization. *Business Credit*, 96, 19–19.
- Greenberg, J. (1987). A taxonomy of organizational justice theories. *Academy of Management Review*, 12(1), 9–22.
- Gouda, E. (2024). The role of digital leadership in developing job satisfaction among employees: applied to employees of Air Arabia. *International Journal of Heritage, Tourism and Hospitality*, 18(1), 60-91.
- Guo, B., Liu, X., Liao, S., & Hu, J. (2025). Research on employee innovation ability in human-machine collaborative work scenarios—Based on the

- grounded theory construct of Chinese innovative enterprises. *Behavioral Sciences*, 15(7), 836–859.
- Gupta, P., Nguyen, T. N., Gonzalez, C., & Woolley, A. W. (2025). Fostering collective intelligence in human–AI collaboration: Laying the groundwork for COHUMAIN. *Topics in Cognitive Science*, 17(2), 189–216.
- Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., & Antunes Marante, C. (2021). A systematic review of the literature on digital transformation: Insights and implications for strategy and organizational change. *Journal of Management Studies*, 58(5), 1159–1197.
- Hassan, K., Thakur, A. K., Singh, G., Singh, J., Gupta, L. R., & Singh, R. (2024). Application of artificial intelligence in aerospace engineering and its future directions: A systematic quantitative literature review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 31(7), 4031–4086.
- Heiets, I., Spivakovskyy, S., & Spivakovska, T. (2019). Innovative business models for full cycle operating airlines. *International Journal of Business Performance Management*, 20(4), 356–377.
- ICAO. (2023). *Digital Aviation Strategy 2023–2030*. International Civil Aviation Organization. <https://www.icao.int/>, (Erişim Tarihi: 02.11.2025)
- Igwe, F. N., Ozoalor, M. C., Okpara, E. D., Momoh, M. O., Awode, E. I., & El-Suleiman, A. (2023). Air transport system: A review on the advancement, opportunities and challenges. *ATBU Journal of Science, Technology and Education*, 11(2), 205–216.
- Iqbal, I. (2023). Privacy Concerns in Biometric Data Collection: Ethical, Legal, and Technical Challenges. *Journal of Big Data Privacy Management*, 1(02), 161–169.
- Kabashkin, I., & Shoshin, L. (2024). Artificial intelligence of things as new paradigm in aviation health monitoring systems. *Future Internet*, 16(8), 276.
- Kabashkin, I., Perekrestov, V., & Pivovar, M. (2025). AI-Driven fault detection and maintenance optimization for aviation technical support systems. *Processes*, 13(3), 666.
- Kao, L. J., Chiu, C. C., Lin, H. T., Hung, Y. W., & Lu, C. C. (2024). Unveiling the dimensions of digital transformation: A comprehensive taxonomy and assessment model for business. *Journal of Business Research*, 176, 114595.
- Karakuş, N., Gedik, K., & Kazazoğlu, S. (2025). Ethical decision-making in education: A comparative study of teachers and artificial intelligence in ethical dilemmas. *Behavioral Sciences*, 15(4), 469–481.
- Kern, C. J., Poss, L., Kroenung, J., & Schöning, S. (2024). Navigating the moral maze: A literature review of ethical values in business process management. *Business Process Management Journal*, 30(8), 343–370.

- Kirwan, B. (2024). The impact of artificial intelligence on future aviation safety culture. *Future Transportation*, 4(2), 349–379.
- Kirwan, B. (2025). Human factors requirements for human-ai teaming in aviation. *Future Transportation*, 5(2), 42–57.
- Klein, S. P., Spieth, P., & Söllner, M. (2024). Employee acceptance of digital transformation strategies: A paradox perspective. *Journal of Product Innovation Management*, 41(5), 999–1021.
- Krishnan, D. L., Kakada, D. P., & Sundararajan, P. (2024). Analysis of man-machine collaboration on the employee engagement process: IT industry perspective. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 8(8), 983–997.
- Kumar, A., Krishnamoorthy, B., & Bhattacharyya, S. S. (2024). Machine learning and artificial intelligence-induced technostress in organizations: A study on automation-augmentation paradox with socio-technical systems as coping mechanisms. *International Journal of Organizational Analysis*, 32(4), 681–701.
- Magliocca, P., Canestrino, R., Carayannis, E. G., & Gagliardi, A. R. (2025). Understanding human–technology interaction: Evolving boundaries. *European Journal of Innovation Management*, 28(5), 2006–2028.
- Mamanazarov, S., Khajiyeva, M., Abdullaeva, D., Yuldasheva, G., Azkhodjaeva, R., Pirnazarov, A., & Xamedova, N. (2025). Innovating human capital development: The role of education, law, and economics through digital transformation. *Qubahan Academic Journal*, 5(3), 78–113.
- Martini, B., Bellisario, D., & Coletti, P. (2024). Human-centered and sustainable artificial intelligence in industry 5.0: Challenges and perspectives. *Sustainability*, 16(13), 5448.
- Mele, G., Capaldo, G., Secundo, G., & Corvello, V. (2024). Revisiting the idea of knowledge-based dynamic capabilities for digital transformation. *Journal of Knowledge Management*, 28(2), 532–563.
- Moghadasnian, S., & Rajol, M. (2025). Artificial intelligence in airline business management: A paradigm shift in the industry. *Journal of Business Data Science Research*, 4(1), 6–12.
- Mohamed, H. A. E. S., & Al-Azab, M. R. (2021). Big data analytics in airlines: Opportunities and challenges. *Journal of Association of Arab Universities for Tourism and Hospitality*, 21(4), 77–112.
- Morandini, S., Fraboni, F., De Angelis, M., Puzzo, G., Giusino, D., & Pietrantoni, L. (2023). The impact of artificial intelligence on workers' skills: Upskilling and reskilling in organisations. *Informing Science*, 26, 39–68.
- More, A. B., & Shrivastava, A. (2025). Artificial Intelligence: Applications and Implications for Hospitality, Travel, and Tourism. In *Digital Disruption in*

- Hospitality, AI, and Emerging Technologies* (pp. 3-27). Emerald Publishing Limited.
- Nour, S., & Arbussà, A. (2024). Driving innovation through organizational restructuring and integration of advanced digital technologies: A case study of a world-leading manufacturing company. *European Journal of Innovation Management*, 1–22.
- Okan, B., & Aksoy, T. (2022). Assessing the effect of proactive maintenance scheduling on maintenance costs and airline profitability: The case of Turkish Airlines Technic. *International Journal of Research in Business & Social Science*, 11(4).
- Olaganathan, R. (2024). Human factors in aviation maintenance: Understanding errors, management, and technological trends. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 18(2), 92–92.
- Opuala-Charles, S. I. L. V. A. (2025). Technology adoption and digital transformation of Nigerian Civil Aviation Authority: Moderating strategic orientation. *International Journal of Social Sciences*, 8(2), 32–52.
- Oyekunle, D., & Boohene, D. (2024). Digital transformation potential: The role of artificial intelligence in business. *International Journal of Professional Business Review*, 9(3), 1–15.
- Özkan, O. S., Aksoy Kürtü, S., Üzümlü, B., & Ulu, Ö. (2024). Enhancing prosocial behavior in the aviation industry through responsible leadership and importance of ethics and social responsibility: examining a moderated mediation model. *Leadership & Organization Development Journal*, 45(2), 208-230.
- Passalacqua, M., Pellerin, R., Magnani, E., Doyon-Poulin, P., Del-Aguila, L., Boasen, J., & Léger, P. M. (2025). Human-centred AI in Industry 5.0: A systematic review. *International Journal of Production Research*, 63(7), 2638–2669.
- Park, S. Y. (2025). A study on the integration of evidence-based training (ebt) and digital technologies to enhance aviation safety. *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 33(1), 71-81.
- Pinar, A. (2022). Artificial intelligence supported aircraft maintenance strategy selection with q-rung orthopair fuzzy TOPSIS method. *Journal of Aviation*, 6(3), 260-265.
- Pisitkasem, A., & Pairoj-Boriboon, T. (2023). Digital HR: The digital transformation in human resources management in the aviation business. *Social Science Asia*, 9(3), 11-20.
- Poulaki, I., Paraschi, E. P., Marinakos, K., Avramopoulos, A., & Makrygianni, S. (2021). Digital technologies and innovation in airport services: a benefit model approach. *Journal of Air Transport Studies*, 12(2), 41-63.

- Prasetya, Y. B., & Zaakiyyah, H. K. A. (2024). Building values-based leadership in the context of knowledge management and information technology to support sustainable change in organizational culture. *Journal of Contemporary Administration and Management (ADMAN)*, 2(1), 436–442.
- Radanliev, P. (2025). AI ethics: Integrating transparency, fairness, and privacy in AI development. *Applied Artificial Intelligence*, 39(1), 2463722.
- Rizkina, A. T., Hidajat, H. G., & Farida, I. A. (2025). Job-related anxiety in the age of artificial intelligence: A systematic review of workplace dynamics. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research*, 4(8), 3965–3976.
- Rony, M. K. K., Numan, S. M., Johra, F. T., Akter, K., Akter, F., Debnath, M., ... & Parvin, M. R. (2024). Perceptions and attitudes of nurse practitioners toward artificial intelligence adoption in health care. *Health Science Reports*, 7(8), e70006.
- Rosenow, D., Lee, T. T., & Li, Z. X. (2022). Next-generation air routing: Integrating AI, multi-objective optimization, and collaborative decision making for efficient and sustainable flight planning. *International Journal of Enterprise Modelling*, 16(3), 136–144.
- Shang, M., Tang, D., Shi, L., & Wang, J. (2025). A study on the relationship between digital transformation elements, innovation capability, and digital transformation performance of civil airports. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 25(4), 3763–3779.
- Shneiderman, B. (2020). Bridging the gap between ethics and practice: guidelines for reliable, safe, and trustworthy human-centered AI systems. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TüS)*, 10(4), 1–31.
- Soomro, S. A., Qamar, F., Hadoussa, S., & Kundi, Y. M. (2025). Digital transformation and electronic performance: Exploring the relationship between fairness perception, organizational identification, and individual performance. *Review of Managerial Science*, 19(5), 1297–1316.
- Sposato, M. (2024). Leadership training and development in the age of artificial intelligence. *Development and Learning in Organizations: An International Journal*, 38(4), 4–7.
- Srivastava, P., Mamodiya, U., Pandey, V., & Srivastava, A. (2025). Fuel Efficiency Analysis: A Key to Sustainable Aviation. In *Digital Transformation in Aviation Industry Operations* (pp. 216–244). Routledge..
- Steiber, A., & Alvarez, D. (2025). Culture and technology in digital transformations: How large companies could renew and change into ecosystem businesses. *European Journal of Innovation Management*, 28(3), 806–824.
- Sundari, S., Silalahi, V. A. J. M., Wardani, F. P., Siahaan, R. S., Sacha, S., Krismayanti, Y., & Anjarsari, N. (2024). Artificial intelligence (AI) and automation in human resources: Shifting the focus from routine tasks to stra-



- tegic initiatives for improved employee engagement. *East Asian Journal of Multidisciplinary Research*, 3(10), 4983–4996.
- Talib, M. A., Nasir, Q., Dakalbab, F., & Saud, H. (2025). Future aviation jobs: The role of technology in shaping skills and competencies. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 100517.
- Tan, K. L., Yeap, P. F., Cheong, K. C. K., & Loganathan, S. R. (2025). Crafting an organizational strategy for the new era: A qualitative study of artificial intelligence transformation in a homegrown Singaporean hotel chain. *Business Process Management Journal*, 31(8), 104–123.
- Tran, T. N., Pham, D. T., Bui, M., & Alam, S. (2025, April). A probabilistic framework for real-time processing of aircraft surface movement data in digital twins. In *2025 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)* (pp. 1-8). IEEE.
- Trstenjak, M., Benešova, A., Opetuk, T., & Cajner, H. (2025). Human factors and ergonomics in Industry 5.0—A systematic literature review. *Applied Sciences*, 15(4), 2123–2141.
- Turnawan, A., Ariyanto, A., Untoro, W., & Fariz, F. (2024). The influence of effective leadership and organizational justice on organizational commitment in the transportation infrastructure sector of the Surabaya City Transportation Service. *Transekonomika: Akuntansi, Bisnis dan Keuangan*, 4(5), 923–935.
- Vadisetty, R., & Polamarasetti, A. (2024). Generative AI in Aviation: Transforming Passenger Experience and Operational Efficiency with Ethical AI. In *Airline Customer Experience* (pp. 124-161). Routledge.
- Werts, A. (2024). Computer vision and artificial intelligence: Intelligence in action, anomalies and data patterns-detecting the undetectable. *International Journal of Contemporary Intelligence Issues*, 1(1), 34-51.
- Westphal, P. (2022). Achieving better decision-making and growth by transforming mindsets and organizational cultures: Changing from blame cultures to systematic error management in aviation and beyond. In *The Global Impact of Social Innovation: Disrupting Old Models and Patterns* (pp. 99-115). Cham: Springer International Publishing.
- Wu, Y., Tian, C., & Wan, H. (2025). A study on improving organizational structure and cultural alignment based on iterative computing in enterprise digital transformation. *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*, 127, 8739–8752.
- Yazıcı, A. M. (2024). Big data and amoeba organizations: Innovative management in decision making. *R&S-Research Studies Anatolia Journal*, 7(4), 519-551.

- Yıldız, B., & Mazioğlu, V. (2025). The impact of digital transformation on innovativeness in airline companies: The role of agility and openness to change. *Journal of Aviation*, 9(2), 454-466.
- Zhang, Y. (2024). Cultivating a culture of innovation: The impact of leadership style on employee well-being and organizational creativity. *International Journal of Global Economics and Management*, 2(1), 202–210.
- Ziakkas, D., Pechlivanis, K., & Plioutsias, A. (2025). Enhancing aviation risk assessment through artificial intelligence: The single pilot operations case study. *Transportation Research Procedia*, 88, 305-314.

## Havacılık Yönetiminde Yapay Zekâ Dijital Kimlik

Zuhal Erdem<sup>1</sup>

### Özet

Havacılık endüstrisi, yapay zekânın hızlı gelişimiyle yönlendirilen benzeri görülmemiş bir dönüşüm sürecindedir. Yapay zekânın havacılıkta kullanımı; güvenliği, verimliliği ve yolcu deneyimini iyileştirerek sektörde köklü bir değişim yaratmaktadır. Bu bölümde, havayolu işletmelerinde yapay zekâ temelli sistemlerin dijital kimlik süreçlerine entegrasyonu incelenmiştir. Özellikle IATA tarafından geliştirilen “Proje 777” ve “Proje 321” tasarımları örnek olay olarak ele alınmış; bu projelerin teknik altyapıları, güvenlik, emniyet ve karar destek sistemlerine katkıları ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Ayrıca, projelerin etik ve şeffaflık boyutları da tartışılmıştır. Söz konusu tasarımlar, güvenlik açıklarını en aza indirerek, tekrarlayan süreçleri ortadan kaldırmakta ve insana bağımlılığı azaltarak havayolu operasyonlarını hızlandırmaktadır. Dijital kimlik çözümlerinin benimsenmesi hem yasal düzenlemelere hem de güvenlik gerekliliklerine uyumu güçlendirmekte; aynı zamanda yolcu deneyimini yeniden şekillendirmektedir. Bu teknolojik dönüşüm, hava yolculuğunun geleceğini tanımlayarak onu daha güvenli, daha akıllı ve daha kullanıcı odaklı bir hale getirmektedir.

### 1.Giriş

Tüm sektörlerde önemli görevler üstlenen yapay zekânın havacılık sektöründe de önemi günden güne artmaktadır. Havacılık endüstrisi yenilikçi yaklaşımları yakından takip ederek hız kazanmaktadır. Havacılık endüstrisi tarih boyunca, uçuşları daha emniyetli, verimli ve erişilebilir kılmak amacıyla sürekli yeniliklere odaklanmış ve birçok teknolojik devrim geçirmiştir (Jiang vd., 2023). Günümüzde havayolu işletmeleri, yapay zekâdan yararlanarak yolcular için daha fazla değer yaratmayı hedeflemektedir.

1 Dr., Turkish Airlines Cabin Crew Directorate /Instructor, e-mail: zsakici@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1694-7800

Yapay zekâ artık insan yaşamının vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiştir. Doğal zekânın taklit edilmesi anlamına gelen bu teknoloji, insana özgü bilişsel süreçlerin yazılımlar aracılığıyla makinelere aktarılmasını ifade etmektedir (Farrow, 2019).

Günümüzde havacılık sektörü ile yapay zekâ birbirinden ayrı düşünülemez. Uçakların kuşlarla aynı sonucu (uçma) elde etmesi ancak farklı mekanizmalarla gerçekleştirmesi gibi, yapay zekâ da insan düşünme biçimlerini farklı yöntemlerle simüle etmektedir. Bu sayede makineler, insan zekâsının birçok yönünü taklit ederek verileri analiz edebilmekte, örüntüleri tanımlayabilmekte, karar alabilmekte ve problemleri çözebilmektedir.

Havacılıkta yapay zekâ teknolojileri çok çeşitli alanlarda uygulanmaktadır. Havayolu işletmeleri, tahmini bakım planlaması ve müşteri hizmetlerinde yapay zekâ odaklı otomasyon sistemlerini benimserken; biyometrik tanımlama sistemleriyle yolcuların güvenlik kontrolleri ve uçağa geçiş prosedürlerini kolaylaştırmaktadır. Gelişmiş biyometrik sistemler sayesinde güvenlik tarama süreleri azalmış, tehdit tespitindeki doğruluk oranı ise artmıştır. Çevik havayolu işletmeleri ayrıca mobil uygulamalar ve ödeme sistemleri gibi dijital platformlarını modernize ederek daha kusursuz bir yolculuk deneyimi sunmaktadır.

Akıllı havalimanları, güvenliği artırmak amacıyla gelişmiş algılama ve kontrol sistemlerinden yararlanırken; bulut bilişim ve büyük veri analitiği, uçuş planlamasının, yakıt tüketiminin ve müşteri etkileşimlerinin kişiselleştirilmesinin optimizasyonunda kullanılmaktadır. Yapay zekâ, rota optimizasyonundan hava trafiği tahminine ve risk öngörüsüne kadar hava sahası yönetiminde de verimliliği ve güvenliği artırmaktadır (International Civil Aviation Organization, 2025).

Ayrıca yapay zekâ destekli rota optimizasyonu, çevresel sürdürülebilirlik açısından yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Üretken yapay zekâ, doğal dil arayüzleri aracılığıyla havayolu işletmelerine erişilebilir çözümler sunarak; ekip planlaması, tedarik zinciri yönetimi ve kriz müdahalesinde öngörü gücünü artırmakta, böylece güvenilirlik ve maliyet verimliliğini yükseltmektedir.

Havacılık işletmeleri, yapay zekâ sayesinde yolcu ihtiyaçlarını ve çevresel unsurları gerçek zamanlı olarak değerlendirebilmekte; ürün ve hizmetlerini farklılaştırarak kişiselleştirebilmektedir. Bu durum, işletmelere önemli bir rekabet avantajı kazandırmaktadır (Meydan, 2023).

Yapay zekânın görevleri otomatikleştirme ve verileri gerçek zamanlı analiz etme yeteneği, havacılık profesyonellerinin sistemlerle etkileşim biçimini dönüştürmekte; bu da verimlilik, güvenlik ve karar alma süreçlerinde yeni

fırsatlar yaratmaktadır. Yapay zekâ, veri analitiği, makine öğrenimi, derin öğrenme ve nesnelerin interneti gibi yöntemlerle bütünleşik bir ekosistem oluşturmaktadır.

Veri analitiği ve yapay zekânın entegrasyonu, gerçek zamanlı tehdit tespitini ve hızlı müdahaleyi mümkün kılmaktadır. Havayolu işletmeleri, veri analitiği sayesinde gerçek talebe uygun ikram hazırlıkları yaparak gıda israfını ve aşırı üretimi azaltabilmektedir (Singh, 2025).

Makine öğrenmesi, verilerden bağımsız olarak öğrenme ve tahmin üretme becerisiyle, yolcu deneyimini iyileştiren algoritmalar geliştirmektedir. Bu algoritmalar, yolcuların yaşadığı deneyimlere ilişkin verileri (örneğin uçuş gecikmeleri, bagaj teslim süresi, check-in süresi, uçak içi hizmet kalitesi vb.) analiz ederek memnuniyet skorlarını tahmin edebilmektedir. Böylece belirli yolcu profillerine göre gelecekteki memnuniyet düzeyi öngörülmekte, potansiyel sorunlara proaktif çözümler geliştirilebilmektedir (Alanazi vd.,2024).

Havayolu müşterileriyle güçlü ve işbirlikçi ilişkiler kurmak, sadakati artırmak ve ekonomik değeri yükseltmek için entegre yolcu verisi gerekliliği giderek artmaktadır (Alshurideh vd., 2019).

Derin öğrenme, makine öğrenmesinin bir alt kümesi olup yapay sinir ağları üzerinden karmaşık veri kümelerinden çıkarım yapmayı hedefler. Bu algoritmalar, milyonlarca parametreyi işleyerek yolcu memnuniyeti analizlerinde yüksek doğruluk sağlamaktadır. Yolcuların geçmiş tercihleri, geri bildirimleri ve sosyal medya etkileşimleri incelenerek kişiselleştirilmiş hizmetler önerilmektedir. Bu sayede, sürekli veri analizi yoluyla misafir deneyimi daha etkili biçimde optimize edilmektedir (Bullchand, 2020).

Nesnelerin İnterneti (IoT), insan müdahalesi olmaksızın veri iletimi gerçekleştiren akıllı cihazlardan oluşan bir sistemdir (Singh vd., 2020). IoT teknolojisi sayesinde hava kargo gönderileri gerçek zamanlı olarak takip edilebilmekte; GPS uçakların izlenmesine, RFID sistemleri ise yüklerin sürekli gözetimine olanak tanımaktadır. Bu durum hırsızlık ve kaybolma risklerini en aza indirerek operasyonel güvenilirliği artırmaktadır (Şahan, 2025).

Sektörün temel bileşenlerinden olan havayolu işletmeleri, bilgi sistemlerini operasyonel faaliyetlerde ve paydaş ilişkilerinde yoğun biçimde kullanmaktadır. Yapay zekânın havayolu operasyonlarına entegrasyonu sayesinde zaman ve iş gücü tasarrufu sağlanmakta, maliyetler düşürülmekte ve rekabet avantajı elde edilmektedir. Ayrıca büyük veri analitiğiyle güvenlik

süreçleri optimize edilmekte, operasyonel dönüşüm stratejik bir boyut kazanmaktadır.

Yapay zekânın veri odaklı doğası, işletmelerin süreçlerini veri temelli bir bakış açısıyla yeniden yapılandırmasını zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda, dijital kimlik kullanımı güvenlik, verimlilik ve kişiselleştirme açısından kritik bir unsur haline gelmiştir. Dijital kimlik için yenilikçi çözümler geliştirmek, havacılık sektöründe sürdürülebilir büyümenin ve güvenliğin temel koşulu olarak değerlendirilmektedir.

## 2.Dijital Kimlik

Bilgi güvenliği, dijital çağın en temel gereksinimlerinden biridir. Dijitalleşmenin hızlanmasıyla birlikte veriye erişim ve kullanılabilirlik artmış; buna paralel olarak güvenlik ve mahremiyet riskleri de çeşitlenmiştir. Kişisel veri, günümüzde “internetin yeni yakıtı” olarak tanımlanmakta ve her geçen gün daha stratejik bir değer kazanmaktadır.

Veriye erişimin kolaylaşması, özellikle havayolu işletmeleri açısından ciddi güvenlik ve gizlilik sorunlarını beraberinde getirmiştir. Yolculara ait verilerin manipüle edilememesi, kopyalanamaması ve üçüncü kişiler tarafından izinsiz erişilememesi kritik bir gerekliliktir. Bu doğrultuda dijital kimlik çözümleri, veri sızıntısı riskini en aza indirirken, şifrelenmiş veri üzerinden gerçekleştirilen kimlik doğrulama mekanizmaları sayesinde kullanıcıların güvenli bir biçimde hizmet almasını mümkün kılmaktadır (European Commission, 2023).

Dijital kimlik, sanal ortamda bir bireyi veya kurumu tanımlayan ve yazılımlar tarafından doğrulanabilen kimlik bilgilerinden oluşan bir yapıdır (Windley, 2005). Ancak dijital ortamdaki belgelerin çoğu, fiziksel belgelerin dijitalleştirilmiş kopyalarıdır ve bu belgelerin kolaylıkla taklit edilebilmesi, doğrulama süreçlerinde güven sorunları yaratmaktadır. Bu nedenle hem bireylerin hem de kurumların belgelerini dijital ortamda güvenli biçimde sunabilecekleri, imza ve kişisel bilgilerin dijital olarak doğrulanabileceği bir altyapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir yapı, belgelerin güvenilir biçimde sunulmasını ve doğrulanmasını sağlayarak olası güvenlik açıklarını büyük ölçüde ortadan kaldıracaktır (Doğan ve Karacan, 2022).

### 2.1 Dijital Kimlik Yönetim Modelleri

Dijital kimlik yönetimi, bir bireyin ya da kuruluşun kimliğinin güvenli, doğrulanabilir ve sürdürülebilir biçimde tanımlanmasını sağlayan sistematik bir yapıdır. Dijitalleşmenin hız kazanmasıyla, kimlik doğrulama süreçleri yalnızca teknik bir gereklilik olmaktan çıkıp stratejik bir güvenlik unsuru

haline gelmiştir. Bu kapsamda geliştirilen kimlik yönetim modelleri, veri gizliliği, erişim kontrolü ve kullanıcı deneyimi arasındaki dengeyi korumayı amaçlamaktadır.

Her model, kimlik doğrulama süreçlerinde farklı derecelerde merkeziyet, kullanıcı kontrolü ve veri paylaşım politikası sunmaktadır. Aşağıda bu modellerin temel özellikleri ve işleyiş prensipleri ele alınmaktadır.

### **2.1.1 Merkezi Kimlik Yönetimi (Centralized Identity Management)**

Merkezi kimlik yönetimi, kullanıcıların kimlik bilgilerinin tek bir veri tabanında toplandığı ve erişim yetkilerinin merkezi bir sistem tarafından denetlendiği yapıdır. 1990'lı yılların ortalarından itibaren gelişen Active Directory ve LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) teknolojileriyle yaygınlık kazanmıştır. Bu modelde kullanıcı kimlikleri tek bir veri kaynağında tutulur, erişim izinleri merkezi biçimde yönetilir ve sistem yöneticileri kullanıcı yetkilerini kapsamlı bir şekilde denetleyebilir. Kimlik doğrulama, merkezi servisler üzerinden gerçekleştirilir; bu da yönetimi kolaylaştırırken, yüksek düzeyde erişim kontrolü sağlar (Blockchain Türkiye Platformu [BCTR], 2025).

### **2.1.2 Federe Kimlik Yönetimi (Federated Identity Management)**

Federe kimlik yönetimi, farklı kuruluşlar veya servis sağlayıcıları arasında kimlik bilgisinin paylaşılmasına olanak tanıyan bir yaklaşımdır. Bulut tabanlı hizmetlerin ve sistem entegrasyonlarının yaygınlaşmasıyla önem kazanmıştır.

Bu modelde kullanıcılar, tek bir kimlikle birden fazla sisteme erişebilir. Single Sign-On (SSO) teknolojisi ve SAML (Security Assertion Markup Language) protokolü, bu yapının temelini oluşturmaktadır. Tek oturum açma özelliği sayesinde kullanıcı bir kez giriş yaptıktan sonra, farklı sistemler arasında yeniden kimlik doğrulaması yapmadan geçiş yapabilir. Federe sistemler, OpenID Connect ve OAuth gibi protokollerle uyumlu çalışır. Ayrıca Avrupa Birliği ülkelerinde yürürlükte olan eIDAS (Electronic Identification and Trust Services for Electronic Transactions in the Internal Market) düzenlemesi, bir ülkede geçerli olan ulusal kimlik sistemlerinin diğer AB ülkelerinde de geçerli olmasını sağlamaktadır (European Union, 2014).

### **2.1.3 Kullanıcı Merkezli Kimlik Yönetimi (User Centric Identity Management)**

Kullanıcı merkezli kimlik yönetimi, kimlik sahibine kendi verileri üzerinde tam kontrol hakkı tanıyan bir yaklaşımdır. 2010'lu yılların sonlarından itibaren



yaygınlaşan bu modelde kullanıcı, kimlik bilgilerinin nasıl kullanılacağına ve kimlerle paylaşılacağına kendisi karar verir.

Bu yaklaşımda kimlik doğrulama süreçleri özelleştirilebilir; kullanıcı yalnızca gerekli bilgileri, dilediği taraflarla paylaşır. Bu yönüyle model, veri sahipliği, mahremiyet ve kişisel kontrol ilkelerini güçlendirir (BCTR, 2025).

#### **2.1.4 Kullanıcı Egemen Kimlik Yönetimi (Self Sovereign Identity Management)**

Bu modelde dijital kimlik verileri, kimlik sahibinin kendi cihazında bulunan dijital kimlik cüzdanlarında saklanır. Kimlik sağlayıcı kuruluşlardan alınan veriler, üçüncü taraf altyapılarına bağımlı olmaksızın kullanıcı tarafından yönetilir ve paylaşılır.

2015 yılından itibaren öne çıkan bu yaklaşım, merkezi yapıları ortadan kaldırarak veri egemenliğini tamamen kullanıcıya devretmiştir. Bu sayede, kimlik bilgilerinin kontrolü, saklanması ve iptali tamamen kullanıcı tarafından yürütülmektedir (Ünal & Uluyol, 2020). Yeni nesil dijital iş modellerinin, güvenli, hızlı ve kullanıcı merkezli kimlik doğrulama sistemleri üzerine inşa edilmesi beklenmektedir.

Bu kitap bölümünde, IATA tarafından geliştirilen Proje 777 ve Proje 321 tasarımları çerçevesinde dijital kimlik çözümleri incelenmektedir. Her iki proje de, IATA ve sektör paydaşlarının birlikte yürüttüğü bir kavram kanıtı (Proof of Concept – PoC) niteliğindedir. Ayrıca, söz konusu çözümlerin güvenlik, emniyet ve karar destek sistemlerine katkıları ile etik ve şeffaflık konularındaki yansımaları da ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır.

### **3. Proje 777 (7 Yeni İş Akışıyla 7 İş Gününden 7 Saniyelik Kayıt Sürecine)**

#### **3.1 Projenin Amacı ve Kapsamı**

Havacılık sektörü, yapay zekânın verimlilik, müşteri deneyimi ve operasyonel mükemmelliğin temel unsurlarından biri haline geldiği kritik bir dönüşüm döneminden geçmektedir. Dijital kimlik, yalnızca teknik bir yenilik değil; aynı zamanda veri güvenliğinin, kimlik doğrulamanın ve dijital hakların yeniden tanımlandığı küresel ölçekte bir paradigma değişimini temsil etmektedir.

Proje 777, dijital kimlik yönetimini seyahat operasyonlarına entegre ederek, havayolları ve acente ortakları için güvenli, verimli ve kullanıcı dostu bir sistem oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, kısa ve orta vadede

hem müşterilerin hem de ekosistem aktörlerinin dijital kimlik sahibi olmaları hedeflenmektedir.

Hâlihazırda acentelerin kimlik doğrulama yöntemleri mevcut olsa da acenteye bağlı kullanıcıların kimliklerinin yönetimi, dolandırıcılığın önlenmesi ve yönetim süreçlerinin sadeleştirilmesi açısından kapsamlı bir dönüşüme ihtiyaç duyulmaktadır.

Seyahat endüstrisi, dünya genelindeki acente operasyonlarının bütünlüğünü ve güvenilirliğini korumak amacıyla güvenli, verimli ve kusursuz bir dijital kimlik yönetimi sisteminin uygulanmasından büyük fayda sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sistemin temelinde, dijital cüzdanlar ve dijital çalışan kimlikleri bulunmaktadır. Bu araçlar, operasyonların hızlandırılmasını, veri güvenliğinin artırılmasını ve insan hatasının en aza indirilmesini mümkün kılmaktadır.

Dijital kimlik altyapısı sayesinde seyahat acenteleri ve havayolu işletmeleri yalnızca güvenliği artırmakla kalmayacak, aynı zamanda operasyonel süreçleri de kolaylaştıracak güçlü ve esnek bir dijital kimlik çerçevesi kazanacaktır. Böylelikle sektör, daha güvenli, bütünlük ve verimli bir geleceğe doğru ilerleyecektir.

Bu çözümler, kullanıcı erişimlerinin etkin biçimde yönetilmesini ve devre dışı bırakılmasını kolaylaştırarak dolandırıcılık riskini azaltmakta, genel operasyonel etkinliği ise artırmaktadır. Standartlaştırılmış kimlik doğrulama ve dolandırıcılığı önleme yaklaşımları, hassas verilerin korunmasını sağlarken aynı zamanda dayanıklı ve bağlantılı bir seyahat ekosisteminin kurulmasına katkı sunmaktadır.

Acentelere, çalışanlarına ait dijital kimlik bilgilerini verme, yönetme ve gerektiğinde iptal etme yeteneği kazandırılmaktadır. Bu doğrultuda, kimlik bilgilerinin güvenli biçimde saklanabilmesi için dijital kimlik cüzdanlarının oluşturulması gerekmektedir.

Sektörde, farklı havayolu işletmelerine ait portallarda güvenliği artıracak, çoklu oturum açma gereksinimini ortadan kaldıracak birleşik kimlik doğrulama çerçevesi oluşturma ihtiyacından hareketle Proje 777 geliştirilmiştir.

Bu proje kapsamında, ön koşul olarak acentelerin bir IATA kodu edinmeleri, bir dijital cüzdan seçmeleri ve kendi kriptografik tanımlayıcılarını IATA kodlarıyla birlikte sistem dizinine kaydetmeleri gerekmektedir.

Geliştirilen Kavram Kanıtı (Proof of Concept - PoC) çalışması, dört farklı havayolu işletmesinin B2B (Business to Business) portalıyla etkileşime giren

acente çalışanlarına odaklanmış ve yedi adımlı bir iş akışını doğrulamıştır. Bu portallardan üçü doğrudan havayolu işletmeleri tarafından yönetilmekte; kimlik doğrulama süreçleri ise birden fazla teknoloji sağlayıcısının sunduğu doğrulanabilir kimlik bilgisi (Verifiable Credentials) hizmetleriyle entegre edilmektedir.

Bu PoC çalışması, kimlik belgesi oluşturma (seyahat acenteleri tarafından), dijital cüzdan kullanımı (mobil ve web tabanlı), ve çoklu doğrulama mekanizmalarını bir araya getirerek uçtan uca birlikte çalışabilirlik (interoperability) sağlamaktadır.

Projenin yedi adımlı iş akışı şu şekilde tanımlanmıştır:

1. Temsilci kimlik bilgilerini verecek kuruluş tarafından, acenteye dijital çalışan kimliği atanır.
2. Dijital cüzdan özelliği aracılığıyla oluşturulan başvuru formu doldurularak kuruluş kaydı tamamlanır (tüm havayolu işletmeleri bu özelliği kullanmayabilir).
3. Ortak kuruluş profiline bağlı acente dijital kimliğiyle yapılan başvurular otomatik onaylanır; ancak bu süreç, her havayolu işletmesinin onay politikalarına bağlı olarak farklılık gösterebilir.
4. Havayolu portalına ilk girişte acente bilgileri otomatik olarak sisteme iletilir, yeterlilik doğrulaması yapılır ve kullanıcı profili kendiliğinden oluşturulur.
5. Mobil kimlik doğrulaması, mobil uygulama üzerinden gerçekleştirilir.
6. Masaüstü kimlik doğrulaması, masaüstü uygulaması aracılığıyla yapılır.
7. Acentenin dijital kimliğini yalnızca temsilci kimlik bilgilerini veren yetkili kuruluş iptal edebilir (International Air Transport Association [IATA], 2025a).

### **3.2 İşleyiş ve Sistem Roller**

Kavram kanıtı (Proof of Concept - PoC) kapsamında üç farklı seyahat acentesi çalışanına, mobil ve web tabanlı olmak üzere iki ayrı dijital cüzdan türü aracılığıyla dijital çalışan kimlikleri verilmiştir. Bu çalışanlar, dört farklı havayolu işletmesinin B2B portallarında kayıt ve giriş işlemlerini başarıyla gerçekleştirmiştir.

Sürecin son aşamasında, bir çalışanın kimliği acente tarafından iptal edildiğinde, ilgili kişinin tüm portallardaki erişim yetkileri otomatik olarak

kaldırılmıştır. Bu durum, kimlik doğrulama mekanizmasının merkezi otoritelerden bağımsız, güvenli ve birlikte çalışabilir bir yapıya kavuştuğunu göstermektedir. Bu yapının temel bileşenleri aşağıda özetlenmiştir:

#### Sistem Roller

- **Issuer (Veren Kurum):** Seyahat acentesi, çalışanlarına doğrulanabilir kimlik belgeleri (Verifiable Credentials) tahsis eden kurumdur. Bu belgeler, acente tarafından oluşturulmakta ve güvenilir kimlik sağlayıcı aracılığıyla doğrulanabilir şekilde yapılandırılmaktadır.
- **Holder (Sahip):** Seyahat acentesi çalışanı, kendisine verilen doğrulanabilir kimlik belgesini dijital cüzdanında güvenli biçimde saklar. Gerek duyulduğunda, bu kimliği yetkili doğrulayıcılarla paylaşabilir veya erişim iznini iptal edebilir.
- **Verifier (Doğrulayıcı):** Havayolu işletmeleri, acentelerin kimliklerini ve yetkilerini doğrulayan otorite konumundadır. Doğrulama süreci, merkezi bir veritabanına ihtiyaç duymadan, kriptografik imzalar ve güven zinciri prensipleri üzerinden yürütülmektedir.
- **Verifiable Data Registry (VDR):** Her acentenin web alanına bağlı bir dijital kayıt sistemidir. Bu sistem, kimliklerin oluşturulma, geçerlilik ve iptal kayıtlarını tutar. VDR yapısı, verilerin bütünlüğünü garanti altına alırken kimlik güncellemelerini eş zamanlı olarak tüm doğrulayıcılara yansıtır.
- **Trust Registry (Güven Kayıt Sistemi):** Yetkili kimlik veren kurumların listesini, geçerli kimlik türü şemalarını ve doğrulama kurallarını içeren merkezi bir referans dizinidir. Güven Kayıt Sistemi, sistemdeki tüm kimlik doğrulama işlemlerinin yetkili ve güvenilir kurumlar tarafından yürütülmesini garanti eder (IATA, 2025a).

Bu yapı, dağıtık kimlik altyapısının, havacılık sektöründe pratik olarak uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Böylece, hem kimlik yönetiminde güvenlik düzeyi artırılmakta hem de operasyonel iş akışlarında zaman tasarrufu sağlanmaktadır.

### 3.3 Teknik Uyum ve Standartlar

Kavram Kanıtı (Proof of Concept – PoC), farklı teknoloji sağlayıcılarının çözümlerinin birlikte çalışabilirliğini garanti eden bir Interoperability Profile (Birlikte Çalışabilirlik Profili) üzerine inşa edilmiştir. Bu profil, kullanılacak kimlik formatlarını, kriptografik yöntemleri ve güvenlik mekanizmalarını

tanımlayarak sistemin teknik uyumunu ve bütünlüğünü sağlamaktadır. Bu kapsamda, süreçte yer alan temel standartlar şu şekilde yapılandırılmıştır:

- **Kimlik Verilmesi (OpenID for Verifiable Credential Issuance- OID4VCI):** Cüzdan ile kimlik veren kurum arasındaki belge oluşturma ve iletim sürecini tanımlar.
- **Kimlik Sunumu (OpenID for Verifiable Presentations- OID4VP):** Dijital kimliklerin doğrulayıcıya nasıl ve hangi güvenlik katmanlarıyla sunulacağını belirler.
- **Seçmeli Veri Paylaşımı (Selective Disclosure- SD-JWT VC):** Kimlik sahibinin yalnızca gerekli bilgileri paylaşmasına olanak tanıyarak veri minimizasyonu ve mahremiyet ilkelerini güçlendirir.
- **Kimlik İptali (OAuth 2.0 Credential Status List):** Kimlik belgelerinin geçerlilik durumlarını (aktif/iptal) yönetir ve sistemin güncel kalmasını sağlar.
- **Tanımlayıcı Metodu (Decentralized Identifier Method- did:web):** Kimlik belgelerinin doğrulanmasını web alanı üzerinden gerçekleştirerek merkezi otoritelerden bağımsız bir doğrulama mekanizması sunar.
- **Kriptografi Standartları (P-256 / secp256r1, ES256- JWT):** Dijital imza ve veri güvenliğini sağlayan endüstri standardı kriptografik yöntemleri temsil eder.

Bu standartların birlikte uygulanması sayesinde sistem, veri gizliliği, güvenilirlik ve şeffaflık ilkelerini koruyarak uluslararası düzeyde ölçeklenebilir bir dijital kimlik yönetimi çözümü sunmaktadır.

Dijital kimlik sürecinin bir parçası olarak seyahat acenteleri, çalışanlarına kimlik belgesi verebilmek için öncelikle Güven Kayıt Sistemi (Trust Registry)'ne kayıt olmalıdır. Bu sayede sistemdeki havayolu işletmeleri, kayıtlı acenteler tarafından verilen kimlik belgelerine otomatik olarak güven duyabilmektedir.

Her acente, kendi çalışanlarına ait doğrulanabilir kimlik belgelerini oluşturmakta ve bu belgeleri kendi DID (Decentralized Identifier) kimlikleriyle ilişkilendirmektedir. Acentenin DID kimliği, doğrudan kendi alan adıyla eşleştirilmekte; bu da kimliklerin bütünlüğünü, doğrulanabilirliğini ve izlenebilirliğini güvence altına almaktadır.

Verilen kimliklerin aktif veya iptal durumları, sistem tarafından sürekli olarak güncellenmektedir. Seyahat acentesi çalışanları için oluşturulan doğrulanabilir kimlik belgeleri; ad-soyad, kimlik numarası, iletişim bilgileri

(telefon ve e-posta), çalışan sicil numarası, unvan ve görev bilgilerini içermektedir. Süreç akışı aşağıdaki gibi ilerlemektedir.

- **Hazırlık:** Acentenin kriptografik anahtarları oluşturulmakta ve DID belgesi internet üzerinde erişilebilir hale getirilmektedir.
- **Güvenli Kayıt:** Acentenin DID ve IATA kodu, güvenilir yayıncılar listesine eklenmektedir.
- **Kimlik Verilmesi:** Doğrulanabilir kimlik belgesi acente çalışanın cihazına güvenli biçimde iletilmektedir.
- **Sunum Başlatma:** Çalışan, işletmeden işletmeye portalına giriş için QR kodu tarar; bu işlem, kimlik sunum sürecini başlatmaktadır.
- **Doğrulama:** Havayolu, kimliği kriptografik olarak doğrulamakta, belge geçerliliğini ve yayıncı güvenilirliğini kontrol etmektedir.
- **Revizyon ve Yetki Denetimi:** İlgili kimlik iptal edilmişse erişim reddedilmekte; aktifse sistem girişine izin verilmektedir (IATA, 2025a).

Proje 777, kimlik doğrulama süreçlerini “7 iş gününden 7 saniyeye” indirme vizyonuyla, dijital dönüşümün havacılık sektöründe kurumsal düzeyde uygulanabilirliğini kanıtlamaktadır. Dijital çalışan kimlikleri ve doğrulanabilir kimlik belgeleri, seyahat acenteleri ile havayolu işletmeleri arasındaki iş ilişkilerinde endüstri standardı haline gelerek; siber güvenlik risklerini azaltmayı, operasyonel süreçleri hızlandırmayı ve müşteri memnuniyetini artırmayı hedeflemektedir.

### 3.4 Proje 777’de Kullanılan Yapay Zekâ

Proje 777 kapsamında yapay zekâ teknolojileri, özellikle veri doğrulama, risk analizi ve davranış modelleme süreçlerinde temel bir rol oynamaktadır. Erişim taleplerinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla, geçmiş erişim kayıtlarını (acente bilgileri, cihaz türü, IP adresi, işlem tipi vb.) analiz eden denetimli makine öğrenmesi (Supervised Machine Learning) yöntemleri kullanılmıştır.

Bu süreçte Random Forest Classifier, Gradient Boosting Trees (XGBoost) ve Support Vector Machines (SVM) algoritmalarıyla eğitim yapılmıştır. Modeller, geçmiş erişim örüntülerini öğrenerek, acente kimliği ile sistem erişim davranışları arasındaki tutarsızlıkları tespit etmektedir. Örneğin, kısa süre içinde farklı ülkelerden yapılan girişleri anomali olarak algılayıp, olası siber saldırı veya dolandırıcılık girişimlerini önceden belirleyebilmektedir.

Anomali Tespiti (Anomaly Detection) aşamasında ise, sahte kimlik veya çoklu erişim girişimlerinin tespiti için denetimsiz öğrenme (Unsupervised

Learning) yöntemlerinden yararlanılmıştır. Isolation Forest ve Autoencoder tabanlı algoritmalar, erişim verilerinde istatistiksel sapmaları analiz ederek “olağandışı kullanıcı davranışlarını” tespit etmekte ve bu durumları sistem yöneticilerine raporlamaktadır. Böylece manuel denetim gereksinimi yaklaşık %70 oranında azalmıştır.

Ayrıca, acenteler tarafından gönderilen kayıt belgelerinin ve metin tabanlı başvuruların doğrulanması için doğal dil işleme (Natural Language Processing – NLP) destekli veri doğrulama mekanizmaları kullanılmıştır. Bu kapsamda Named Entity Recognition (NER) ve Optical Character Recognition (OCR) bileşenleri, Transformer tabanlı NLP modelleriyle entegre edilmiştir.

Bu modeller, başvuru belgelerindeki kimlik, unvan, adres, IATA kodu gibi bilgileri otomatik olarak tanımlayıp, veri tabanındaki referanslarla karşılaştırarak doğrulama işlemini gerçekleştirmektedir. Bu sayede hem doğruluk oranı artmış hem de manuel veri işleme süresi büyük ölçüde azalmıştır. Sonuç olarak, yapay zekâ tabanlı otomasyonun entegrasyonu sayesinde kimlik doğrulama ve kayıt onay süresi 7 iş gününden yalnızca 7 saniyeye indirilmiştir (IATA, 2025a).

### 3.5 Proje 777'nin Güvenlik ve Emniyet Sistemlerine Katkısı

Proje 777, havacılıkta işletmeden işletmeye (B2B) etkileşimlerde kullanılan kimlik sistemlerini dijitalleştirerek güvenliği güçlendirmeyi ve emniyet yönetimini standartlaştırmayı hedeflemiştir.

Proje kapsamında geliştirilen dijital çalışan kimliği ve doğrulanabilir kimlik belgeleri mekanizması, havayolları ile acenteler arasındaki erişim denetimini kriptografik olarak doğrulanabilir bir yapıya dönüştürmüştür. Yetkisiz erişimlerin önlenmesi konusunda bu sistem, her bir kullanıcının kimliğini kriptografik imzalarla doğrulamakta; böylece sahte hesap oluşturma veya üçüncü taraf erişimi olasılığını ortadan kaldırmaktadır. Bu özellik hem bilgi güvenliği hem de işlemsel bütünlük açısından kritik bir ilerleme sağlamaktadır.

Geleneksel parola tabanlı kimlik sistemlerinin en zayıf yönlerinden biri, kimlik hırsızlığı ve veri ihlalleri riskidir. Örneğin, 2018 yılında yaşanan British Airways veri ihlali sonucunda 500.000 yolcunun kişisel bilgileri ele geçirilmiştir. Bu tür olaylar, geleneksel sistemlerin kırılganlığını göstermektedir. Proje 777 ile kullanılan doğrulanabilir kimlik belgeleri sayesinde kimlik sahteciliği ve dolandırıcılık riskleri büyük ölçüde azaltılmış, kullanıcı kimlikleri güçlü bir kriptografik doğrulama zinciri içinde korunur hale gelmiştir (Noah vd., 2024).



Her kimliğin Güven Kayıt Sistemi (Trust Registry) üzerinde kayıtlı bir IATA kodu ve kriptografik kimlikle ilişkilendirilmiş olması, kimlik taklidi veya yetkisiz işlem gibi tehditleri minimize etmektedir. Ayrıca sistem, denetlenebilirlik ve izlenebilirlik açısından yüksek güvenlik seviyesi sunmaktadır. Tüm erişim hareketleri dijital olarak imzalandığı için, sistemde yapılan her işlem kayıt altına alınmakta; bu da olası bir siber saldırı ya da olay sonrası analizde kanıt temelli inceleme yapılabilmesini mümkün kılmaktadır (IATA, 2025a).

Projenin, kurumsal emniyet kültürüne katkısı da dikkat çekicidir. Otomatik kimlik doğrulama süreçleri, insan kaynaklı hataları azaltarak kurum içi emniyet farkındalığını ve güvenli davranış kültürünü güçlendirmektedir. Personel değişimleri veya görev devirlerinde yaşanabilecek erişim açıkları, sistem tarafından otomatik olarak kapatılmakta; bu da operasyonel süreçleri daha izlenebilir ve güvenilir hale getirmektedir (IATA, 2025b).

Böylece Proje 777, hem dolandırıcılık ve sahteciliği önleme hem de emniyet yönetimini dijital temelde güçlendirme yönünde sektörel bir standart oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, ICAO Annex 19’da belirtilen Emniyet Yönetim Sistemi (Safety Management System – SMS) ilkeleriyle tam uyum içindedir ve emniyet kültürünün kurumsal düzeyde sürdürülebilirliğine doğrudan katkı sağlamaktadır (International Civil Aviation Organization [ICAO], 2016).

### 3.6 Proje 777’nin Karar Destek Sistemlerine Katkısı

Proje 777, havayolu işletmeleri ile acenteler arasındaki iş süreçlerinde dijital kimlik doğrulaması ve otomatik erişim yönetimi sağlayan bir işletmeden işletmeye (B2B) çözüm olarak tasarlanmıştır. Bu yapı, karar destek sistemleri açısından veri doğruluğunu, bütünlüğünü ve güvenilirliğini artırarak önemli bir değer üretmektedir.

Dijital çalışan kimlikleri sayesinde, sisteme giren her veri kriptografik olarak imzalanmış kimliklerle ilişkilendirilmekte ve böylece veri kaynağının doğrulanabilirliği sağlanmaktadır. Örneğin, herhangi bir bilet satış işleminin hangi acente personeli tarafından, hangi tarih ve IP adresiyle gerçekleştirildiği kesin biçimde kayıt altına alınmaktadır. Bu yaklaşım, karar destek sistemlerinde kullanılan verilerin güvenilirlik katsayısını artırmakta, aynı zamanda veri kirliliği ve yanlış analiz riski gibi sorunları ortadan kaldırmaktadır.

Süreç şeffaflığı ve izlenebilirlik açısından bakıldığında, Proje 777’nin Güven Kayıt Sistemi (Trust Registry) altyapısı, her işlem adımının kayıt altına alınmasını ve izlenebilirliğini sağlamaktadır. Bu veriler, karar destek

sistemlerinde denetim temelli analiz fonksiyonlarına entegre edilerek stratejik değerlendirmelere katkı sunmaktadır.

Örneğin, sistem yöneticileri veya IATA analistleri, hangi bölgelerde dolandırıcılık riskinin arttığını ya da hangi acentelerin olağandışı işlem yoğunluğuna sahip olduğunu gerçek zamanlı olarak görebilmektedir. Böylece hem operasyonel hem de stratejik düzeyde hızlı ve kanıta dayalı karar alma süreçleri mümkün hale gelmektedir.

Ayrıca dijital kimlik verileri, insan kaynakları, operasyonel yönetim ve erişim kontrol modülleri gibi karar destek alt sistemlerine doğrudan entegre edilebilmektedir. Bu sayede çalışan yetkilendirmesi, erişim iptali, bölgesel risk sınıflandırması gibi karar süreçleri otomatik ve dinamik bir yapıya kavuşmaktadır (IATA, 2025a).

Sonuç olarak Proje 777, dijital kimlik yönetimi ile karar destek sistemleri arasında güçlü bir köprü kurarak, yöneticilerin stratejik kararlara odaklanmasını, operasyonel kararların ise hızlı, güvenilir ve veri temelli biçimde alınmasını sağlamaktadır.

### **3.7 Proje 777'nin Etik ve Şeffaflık Sorunları**

Proje 777, işletmeden işletmeye ekosisteminde dijital çalışan kimliklerini ve acente erişim yetkilerini doğrulayan bir sistemdir. Her ne kadar bu sistem dolandırıcılığı önlemeyi ve süreçleri hızlandırmayı hedeflese de beraberinde çeşitli etik ve mahremiyet temelli sorunlar doğurmaktadır.

Çalışan mahremiyeti açısından değerlendirildiğinde, dijital çalışan kimliklerinin her işlemle bireye özgü kriptografik bir kimlik ilişkilendirmesi, teorik olarak hesap verebilirliği artırsa da aşırı gözetim riskini de beraberinde getirmektedir. Her erişim, işlem ve sistem etkileşiminin kayıt altına alınması, çalışan davranışlarının sürekli izlenmesi anlamına gelebilmektedir. Ayrıca kurumsal veri saklama süresinin belirsizliği, işyeri mahremiyeti ve çalışan özgürlüğü ilkeleriyle çelişebilecek bir duruma yol açmaktadır (ECAT, 2024).

Makine öğrenmesi modelleri, özellikle anomali tespiti ve erişim kontrolü algoritmalarında geçmiş verilerle eğitildiğinden, örtük önyargılar içerebilir. Örneğin belirli coğrafi bölgelerdeki erişimler tarihsel olarak “şüpheli” olarak etiketlendiyse, model bu bölgelere sistematik biçimde ayrımcı sonuçlar üretebilir. Bu durum, adalet ve eşitlik ilkeleri açısından risk taşımakta; karar süreçlerinde tarafsızlık algısını zedeleyebilmektedir.

Ayrıca, proje kapsamında acenteler tarafından verilen dijital kimliklerin IATA kayıt sistemine eklenmesi gerekmektedir. Ancak bu verilerin saklama süresi, üçüncü taraflarla paylaşımı ve kullanıcı rızasının geri çekilmesi süreçleri

açık biçimde tanımlanmamıştır. Bu durum, GDPR Madde 7 uyarınca rıza geri çekme hakkı açısından uyumsuzluk riski oluşturmaktadır (European Union, 2018).

Bir diğer sorun, yapay zekâ tabanlı erişim kontrol kararlarının şeffaflığı ile ilgilidir. Erişim taleplerinin hangi kriterlere göre “şüpheli” olarak işaretlendiği veya reddedildiği kullanıcıya açıklanmamaktadır. Kullanıcı, neden erişimin askıya alındığını bilemediği için karar süreci “kara kutu (black box)” niteliği taşımakta; bu da sistemin hesap verebilirlik düzeyini zayıflatmaktadır (Çevik ve Akleyek, 2022).

Ayrıca sistem hataları veya yanlış sınıflandırmalarda sorumluluğun hangi aktöre ait olduğunun belirsizliği, etik sorumluluk zincirinde bir boşluk yaratmaktadır. Bu durum, dijital kimlik yönetimi altyapısının sadece teknik değil, aynı zamanda etik yönetim ilkeleriyle desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

#### 4.Proje 321 Misafir Salonuna Erişim 3 Dakika’dan 1 Saniye’ye

##### 4.1 Projenin Amacı ve Kapsamı

Proje 321, dijital kimlik, biyometri, veri paylaşımı ve gizlilik standartlarını bütüncül bir modelde birleştirerek, küresel havacılık endüstrisinin dijital dönüşüm stratejisine katkı sunmaktadır. Havacılık sektörü, yolcu kimliğinin doğrulanması, güvenlik ve müşteri deneyimi alanlarında dönüşümsel bir aşamadan geçmektedir. Projenin amacı, bir yolcunun tüm havalimanı süreçleri (rezervasyon, check-in, güvenlik ve biniş) boyunca tek bir dijital kimlik aracılığıyla doğrulanmasını sağlamaktır.

Geleneksel havalimanı süreçleri hâlâ pasaport, biniş kartı ve manuel kimlik doğrulama adımlarına dayandığından; yoğun hatlarda uzun bekleme süreleri, hatalı kimlik eşleştirmeleri ve artan operasyonel maliyetler ortaya çıkmaktadır. Proje 321, dijital kimlik ve biyometri teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde bu süreçleri kâğıtsız, temassız ve gerçek zamanlı kimlik doğrulama temeline oturtmayı hedeflemektedir.

##### 4.2. İşleyiş ve Sistem Roller

Proje 321’in kavram kanıtı çalışması (PoC), dijital kimlik, biyometrik doğrulama, güvenli veri paylaşımı ve çok paydaşlı sistem entegrasyonu unsurlarını bir araya getirmiştir. Proje, “Tek Kimlik- Tek Seyahat (One Identity - Seamless Travel)” vizyonuna dayanmaktadır. Hedef, yolcu deneyimini uçtan uca dijitalleştirerek hem operasyonel verimliliği artırmak hem de kişiselleştirilmiş, güvenli ve hızlı bir seyahat deneyimi sunmaktır.

Sistem Roller:

- DID (Decentralized Identifier): Her yolcuya özgü kriptografik kimliktir.
- Verifiable Credential (VC): Resmî kimlik verilerinin doğrulanabilir dijital formatıdır.
- Digital Wallet: Kimliklerin saklandığı güvenli dijital platformdur.
- Biometric Template: Yüz tanıma ve kimlik eşleştirme algoritmasıdır.
- Trust Registry: Kimlik doğrulama sağlayıcılarını doğrulayan güven altyapısıdır.

Kavram kanıtına Emirates, Qatar Airways ve Air France-KLM katılmış; teknoloji sağlayıcıları olarak Microsoft Azure Identity Platform ve SITA Smart Path görev almıştır. Deneme senaryosu Doha Hamad Uluslararası Havalimanı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, dijital kimliği önceden oluşturulan yolcular, check-in ve biniş süreçlerinde fiziksel belge ibraz etmeden seyahat edebilmiştir (IATA, 2025a).

#### 4.3 Teknik Uyum ve Standartlar

Proje, veri gizliliğini merkeze alan bir mimariyle geliştirilmiştir. Yolcunun kişisel bilgileri merkezi sunucular yerine cihaz üzerindeki dijital cüzdana saklanmaktadır. Hiçbir merkezi sistem, yolcunun kişisel verisini saklamamakta; tüm doğrulama işlemleri kriptografik kanıtlarla gerçekleştirilmektedir.

Sistem, uluslararası kimlik ve gizlilik standartlarıyla tam uyum içindedir:

- W3C Verifiable Credential: Kimlik verilerinin tanımlanması.
- ISO/IEC 19794-5: Biyometrik veri formatı standardı.
- OAuth 2.0/ OpenID: Yetkilendirilmiş veri paylaşımı.
- GDPR ve ICAO Annex 9: Gizlilik ve veri koruma ilkeleri

(European Union, 2018).

Bu standartların birlikte uygulanması, sistemin hem regülasyonlara uyumlu hem de küresel ölçekte birlikte çalışabilir olmasını sağlamaktadır.

Süreç Akışı:

1. Hazırlık: Yolcu mobil uygulama üzerinden dijital kimliğini oluşturur.
2. Güvenli Kayıt: Devlet veya güvenilir kurum kimliği doğrular ve VC olarak cüzdana ekler.

3. Kimlik Verilmesi: Biyometrik veriler (yüz, iris, parmak izi) kimliğe bağlanır.
4. Sunum Başlatma: Havalimanı kameraları yolcuyu tanır.
5. Doğrulama: Dijital kimlik çağrılır, kriptografik doğrulama yapılır.
6. Revizyon ve Yetki Denetimi: Kimlik doğrulandıktan sonra biniş kartı otomatik aktive edilir.

Merkezi olmayan mimari sayesinde, sistem tekil arıza noktalarını ortadan kaldırmakta ve siber saldırılara karşı dayanıklılık kazanmaktadır (Takçı, 2020). Proje 321, misafir salonuna erişim süresini 3 dakikadan 1 saniyeye indirerek güven, hız ve şeffaflığı aynı anda sağlamayı amaçlamaktadır.

#### 4.4 Proje 321’de Kullanılan Yapay Zekâ

Proje 321, dijital kimlik ile biyometrik doğrulamayı birleştiren yolcu odaklı bir yapay zekâ sistemidir. Yapay zekâ burada özellikle görüntü işleme, yüz tanıma, öngörüselleştirme ve eşleştirme süreçlerinde kullanılmaktadır.

Derin öğrenme tabanlı Convolutional Neural Networks (CNN) modelleri-örneğin ResNet-50, MobileNetV3, FaceNet ve ArcFace- kullanılarak dijital kimlik ile biyometrik görüntü arasında %99,8 doğruluk oranına ulaşılmıştır. Canlılık tespiti katmanı sayesinde fotoğraf veya video yoluyla kimlik taklidi girişimleri engellenmiştir.

Ayrıca yoğunluk tahmini, güvenlik riski değerlendirmesi ve yolcu akış optimizasyonu için Recurrent Neural Networks (RNN), Long Short-Term Memory (LSTM) ve Gradient Boosted Regression Trees gibi modellerle öngörüselleştirme yapılmaktadır. Bu modeller, geçmiş uçuş saatleri, kapı kullanımı ve doğrulama sürelerini analiz ederek gelecekteki yoğunlukları tahmin etmekte, yöneticilerin önleyici operasyonel kararlar almasını sağlamaktadır (Jiang vd, 2022).

Şüpheli kimlik veya çift kayıtlı tespiti için Hybrid AI yapısı (kural tabanlı + makine öğrenmesi) kullanılmıştır. Örneğin bir yolcunun dijital kimliği aynı anda iki farklı lokasyonda tarandığında, sistem bunu potansiyel güvenlik ihlali olarak işaretlemektedir. Bu yapı, ICAO Doc 9985 – Biometrics Implementation Guide standardıyla uyumludur (ICAO, 2013).

#### 4.5 Project 321’in Güvenlik ve Emniyet Sistemlerine Katkısı

Proje 321, dijital kimlik ile biyometrik doğrulama (yüz/iris tanıma) teknolojilerini birleştirerek uçtan uca güvenli bir seyahat deneyimi sunmaktadır. Biyometrik veriler yolcunun dijital kimliğiyle eşleştirilerek çok

faktörlü bir doğrulama mekanizması oluşturulmuştur. Bu sistem, pasaport veya biniş kartlarının çalınması, sahte basımı ya da devri riskini ortadan kaldırmakta; kimlik doğrulamasını saniyeler içinde yüksek güvenilirlikle gerçekleştirmektedir.

Bu yaklaşım, Machine Readable Travel Documents (MRTD) ve EU Digital Identity Framework (eIDAS 2.0) standartlarıyla örtüşmektedir (ICAO, 2019). Ayrıca, Elmarady ve Rahouma'ya göre (2023) havacılıkta güvenlik ihlallerinin yaklaşık %45'inin insan hatalarından kaynaklandığı dikkate alındığında, Proje 321 manuel kontrollerdeki hataları azaltarak operasyonel emniyeti artırmaktadır. Temassız doğrulama, bulaşıcı hastalık risklerini de azaltarak pandemi sonrası dönemde havacılık güvenliğinde yeni bir paradigma yaratmıştır.

#### **4.6 Proje 321'in Karar Destek Sistemlerine Katkısı**

Proje 321, biyometrik doğrulama verilerini gerçek zamanlı olarak sistemlere aktararak karar destek süreçlerinde önemli bir işlev üstlenmektedir. Terminal içi yolcu konumu, yoğunluk ve işlem süreleri gibi bilgiler analiz edilerek kapı planlaması, güvenlik noktası optimizasyonu ve kalabalık yönetimi kararları desteklenmektedir (AI ve EUROCONTROL, 2020).

Ayrıca yapay zekâ tabanlı veri analitiği, geçmiş yolcu davranışlarını inceleyerek gelecekteki yoğunlukları ve potansiyel güvenlik risklerini öngörebilmektedir. Örneğin, belirli bölgelerde yinelenen kimlik hataları veya geç doğrulamalar, sistem tarafından risk temelli güvenlik önlemlerinin geliştirilmesi için kullanılmaktadır. Bu yapı, proaktif karar alma mekanizmaları oluşturulmasına olanak tanımaktadır.

#### **4.7 Proje 321 Etik ve Şeffaflık Sorunları**

Proje 321, biyometrik veriler (yüz, iris, parmak izi) ile dijital kimlikleri entegre eden bir sistemdir. Bu yapı güvenlik açısından güçlü olsa da etik ve mahremiyet bakımından karmaşık riskler barındırmaktadır. Biyometrik veriler değiştirilemez nitelikte olduğundan, bir veri sızıntısı durumunda bireyin geri döndürülemez mahremiyet kaybı söz konusu olmaktadır (Alshamaileh, 2023). Bazı pilot uygulamalarda yolcular dijital kimlik sistemlerini kullanmaya zorlanmış; alternatif manuel doğrulama yöntemleri sunulmamıştır. Bu durum, bilgilendirilmiş rıza ilkesinin ihhalidir. Yapay zekâ çağında kişisel veriler ile anonim veriler arasındaki sınırlar bulanıklaşmakta; görünürde “kişisel olmayan” veriler bile işlenerek birey tanımlanabilir hale gelebilmektedir. Ayrıca, insan denetiminden yoksun algoritmaların önyargı veya ayrımcılık içeren kararlar üretebildiği gözlemlenmiştir. Bu tür önyargılı

kararlar, sistematik ayrımcılık riskini artırmaktadır (Abudureyimu ve Oğurlu, 2021).

Veri paylaşımı açısından da şeffaflık eksiklikleri mevcuttur. Biyometrik verilerin hangi kurumlarla (havayolu işletmeleri, devlet otoriteleri, sınır güvenlik kurumları) ve ne süreyle paylaşıldığı belirsizdir. Sistemin bir kimliği yanlış reddetmesi durumunda, yolcu hangi algoritmanın kararı verdiğini veya nasıl itiraz edebileceğini bilmemektedir. Bu durum, algoritmik şeffaflık eksikliğinin açık bir örneğidir. Avrupa Komisyonu, bu tür sorunların önüne geçmek için Yapay Zekâ Düzenlemeleri (EU AI Act) ve etik denetim mekanizmaları geliştirmektedir (ECAT, 2024). Bu düzenlemeler, yapay zekâ sistemlerinde hesap verebilirliği ve denetlenebilirliği artırmayı hedeflemekte; Proje 321 gibi uygulamaların gelecekte etik yönden daha sağlam temellere oturmasını öngörmektedir.

## 5.Projelerin Kazanımları

Proje 777 ve Proje 321, havacılık sektöründe yapay zekâ destekli dijital kimlik yönetimi alanında güvenlik, operasyonel istikrar ve stratejik karar kalitesi bakımından sürdürülebilir bir dönüşümün önünü açmaktadır. Her iki proje de IATA'nın yapay zekâyı, insan kararlarını destekleyen ve geliştiren bir unsur olarak konumlandığını göstermektedir. Proje 777, acenteler açısından değerlendirildiğinde, havayolu rezervasyon platformlarına yalnızca doğrulanmış ve yetkilendirilmiş kullanıcıların erişebilmesini sağlayarak sahtecilik ve kimliğe bürünme riskini sınırlandırmaktadır. Acentelerin profillerini doğrudan sistem erişimleriyle ilişkilendirmesi, idari işlemleri azaltmakta ve kayıt sürecini hızlandırmaktadır. Tüm platformlarda ortak kullanılan birleşik kimlik doğrulama mekanizması, çoklu kullanıcı hesaplarının yönetimini kolaylaştırmakta; kimlik iptalleri merkezi olarak yönetildiği için yetkisiz erişimler engellenmektedir. Kullanıcıya mobil veya web tabanlı doğrulama seçenekleri sunulması, erişim sürecinde esneklik sağlamaktadır. Böylece acenteler açısından güvenlik ve verimlilik artarken, havayolu işletmeleri için operasyonel güvenilirlik güçlenmektedir.

Proje 321 ise yolcular açısından değerlendirildiğinde, dijital kimlik doğrulama süresini dakikalardan saniyelere indirerek zaman tasarrufu sağlamaktadır. Fiziksel kimlik veya belge gösterme zorunluluğunun ortadan kalkması, havalimanı geçişlerinde hız kazandırmakta ve yoğun hatlarda bekleme sürelerini azaltmaktadır. Çok dilli yapay zekâ çözümleri, farklı dillerdeki yolcularla iletişim engelini ortadan kaldırarak kişiselleştirilmiş bir seyahat deneyimi sunmaktadır. Otomatik dil tercihleri, kullanıcıya özgü öneriler ve yönlendirmelerle yolcu memnuniyeti artmakta; bu da



Net Tavsiye Skoru gibi memnuniyet göstergelerine olumlu yansımaktadır. Havayolu işletmeleri açısından bakıldığında, dijital kimlik doğrulamanın standart hale gelmesi dijital temas noktalarında daha yüksek oturma oranları sağlamakta, bu da gelir artışı ve müşteri bağlılığı potansiyeli yaratmaktadır. Kontuarlarda görev yapan personelin iş yükünün azalması operasyonel verimliliği yükseltirken, yapay zekânın hata payını azaltmasıyla hatalı kimlik eşleşmeleri büyük ölçüde azalmış ve dolandırıcılık riski düşmüştür.

Dijital kimliğin düzenli kullanımı yaygınlaştıkça, kimlik doğrulama yalnızca yasal işlemlerle sınırlı kalmayacak; misafir salonu erişimleri, sadakat programı üyelikleri ve diğer hizmet bağlantılarında da yaygın biçimde kullanılacaktır. Bu gelişmeler, yolcuların seyahat süreçlerini daha akıcı, hızlı ve güvenli hale getirmekte; aynı zamanda sektör genelinde veri bütünlüğü ve hizmet standardizasyonu sağlamaktadır (IATA, 2025a). Havalimanlarında güvenlik kontrol noktalarındaki yoğunluk azalmakta, yolcu akışı daha öngörülebilir hale gelmektedir. Uçak kapı planlamaları ve biniş zamanlamaları optimize edilerek operasyonel gecikmelerin önüne geçilmektedir.

Günümüz yolcuları, hız, esneklik ve temassız hizmet beklentilerinde giderek daha talepkâr hale gelmiştir. Yapay zekâ tabanlı sistemler, tekrarlayan görevleri azaltarak hem yolcular hem de acenteler için daha etkili hizmet sağlamaktadır. Bu durum, yalnızca müşteri deneyimini geliştirmekle kalmamakta, aynı zamanda havacılık endüstrisinde standardizasyonu, güveni ve paydaşlar arası tutarlılığı güçlendirmektedir (Ullah, 2025).

Sonuç olarak, Proje 777 ve Proje 321, havacılık sektörünü güvenli, verimli ve şeffaf bir dijital kimlik yönetimi modeline taşımakta; yapay zekâ destekli dijital dönüşümün havacılığın geleceğinde insan, teknoloji ve güvenlik arasında yeni bir denge kuracağını göstermektedir.

## 6.Türkiye’de Uygulama

Türkiye’de yapay zekâ destekli dijital kimlik uygulamaları, küresel havacılık trendleriyle paralel biçimde gelişmektedir. İstanbul Havalimanı ve Türk Hava Yolları iş birliğiyle Star Alliance’ın biyometri altyapısının test edilmesinin ardından, Miles & Smiles üyesi yolcular biyometrik geçiş sistemini aktif biçimde kullanmaya başlamıştır. Bu sistem sayesinde yolcular, yüz tanıma ve parmak izi doğrulaması yaptıktan sonra ortalama 18 saniye içinde 30 adet hızlı pasaport noktasından geçiş yapabilmektedir. Böylece İstanbul Havalimanı, biyometrik ve hızlı pasaport geçiş sistemini etkin ve yaygın bir biçimde uygulayan havalimanları arasında yer almıştır (istairport.com, 2025).

Türkiye’deki sistemde biyometrik veriler merkezi bir kimlik doğrulama veri tabanında tutulmamakta, yalnızca pasaport çipindeki bilgilerle eşleşme doğrulaması yapılmaktadır. Doğrulama işlemi tamamlandıktan sonra veriler geçici bellekte silinmektedir. Bu yapı, Türkiye Cumhuriyeti Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) kapsamında düzenlenmiş olup, sistemin tüm veri güvenliği süreçleri yerel mevzuata uygun biçimde yürütülmektedir (Kişisel Verileri Koruma Kanunu [KVKK], 2016). İzmir Adnan Menderes Havalimanı’nda da hızlı pasaport sistemi aktif durumdadır. Yolcular çipli pasaportlarını, yüz tanıma ve parmak izi doğrulama işlemleriyle eşleştirerek dört hızlı geçiş bankosundan kolayca geçebilmektedir. Türk Hava Yolları, İzmir Havalimanı’nda biniş süreçlerinin de biyometrik yüz tanıma teknolojisiyle gerçekleştirilmesi için yeni bir sistem kurulum süreci planlamaktadır (izmirairport.com, 2025).

Türk Hava Yolları’nın yapay zekâ girişimleri günümüzde altmıştan fazla aktif modeli kapsamaktadır ve iki yüzden fazla çalışan doğrudan yapay zekâ tabanlı projelerde görev almaktadır. Şirket, açık kaynak tabanlı yapay zekâ platformu için Red Hat altyapısını tercih ederek bilet satışlarında daha isabetli dinamik fiyatlandırma uygulamalarıyla operasyonel verimliliği artırmayı hedeflemektedir.

Ayrıca müşteri kart ödemeleri ve Miles & Smiles sadakat programı işlemleri, dolandırıcılık tespiti amacıyla geliştirilen ileri düzey yapay zekâ modelleriyle taranmaktadır. Bu modeller, işlemlerdeki anormallikleri yüksek doğrulukla belirleyerek finansal güvenliği güçlendirmektedir. Operasyonel düzeyde ise uçuş rotaları, uçak özellikleri ve yakıt tüketimi gibi parametreleri dikkate alan atama optimizasyon modelleri kullanılmaktadır. Bu sayede her rota için en uygun uçak tipi seçilmekte, bu da yakıt tüketiminde önemli oranda tasarruf sağlamaktadır.

Ayrıca Türk Hava Yolları, operasyonel süreçlerin kesintisiz ilerlemesi için yer planı öngörülere, blok zaman analizi ve zamanında performans tahminleri gibi alanlarda yapay zekâ tabanlı iyileştirmeler gerçekleştirmektedir. Bu yaklaşımla tüm operasyonel birimler olası gecikmeler karşısında proaktif biçimde hareket etmekte, aksamalar en aza indirilmektedir (RedHat, 2025). Sonuç olarak, Türkiye’de dijital kimlik ve yapay zekâ uygulamaları hem yolcu deneyimini hızlandıran hem de operasyonel verimliliği artıran bir ekosisteme dönüşmüştür. İstanbul ve İzmir örnekleri, Türkiye’nin biyometri temelli dijital kimlik doğrulama sistemlerinde bölgesel lider olma potansiyelini güçlendirmektedir.

## 7. Sonuç ve Tartışma

Havacılık sektörü, yapay zekâ ve dijital kimlik teknolojilerinin birleşimiyle köklü bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. IATA'nın öncülüğünde geliştirilen Proje 777 ve Proje 321, bu dönüşümün yalnızca teknik bir yenilik olmadığını, aynı zamanda güvenlik, yönetim ve etik anlayışında yeni bir dönemi başlattığını göstermektedir. Her iki proje de dijital kimlik doğrulama, biyometrik tanıma, veri gizliliği ve yapay zekâ destekli karar sistemlerinin entegre biçimde nasıl çalışabileceğine dair güçlü örnekler sunmaktadır. Kimlik doğrulama süreçlerinin artık günler yerine saniyeler içinde tamamlanabilmesi, operasyonel verimliliğin ve yolcu memnuniyetinin önemli ölçüde artmasını sağlamıştır.

Yapay zekânın veri analizi, risk tespiti ve biyometrik doğrulama alanlarındaki kullanımı, güvenlik açıklarının azaltılmasına ve karar destek sistemlerinin doğruluk ile hızının artmasına katkı sağlamaktadır. Süreçlerde insan hatasının azalması, havacılıkta emniyet kültürünün güçlenmesine ve operasyonel standartların tutarlılıkla uygulanmasına yardımcı olmaktadır.

Bununla birlikte, dijital dönüşüm beraberinde etik ve şeffaflık temelli yeni tartışmalar getirmiştir. Proje 777'de çalışan verilerinin sürekli izlenebilmesi, Proje 321'de ise biyometrik verilerin değiştirilemez niteliği, mahremiyet ve veri yönetimi konularında net düzenlemelere duyulan ihtiyacı açık biçimde ortaya koymaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin karar verme süreçlerinin tam olarak açıklanamaması, hesap verebilirlik, adalet ve eşitlik ilkeleri açısından dikkatle ele alınması gereken bir konudur. Uzun vadede bu sistemlerin başarısı, uluslararası düzenleyici çerçevelerle uyum içinde geliştirilecek etik denetim mekanizmalarına bağlıdır. Bu nedenle etik gözetim, şeffaflık ve sorumluluk ilkeleri, teknolojik sürdürülebilirliğin temel bir bileşeni hâline gelmelidir.

Türkiye'de İstanbul Havalimanı ve Türk Hava Yolları örneklerinde görüldüğü gibi dijital kimlik ve biyometrik sistemlerin başarıyla uygulanması, ülkenin küresel havacılık standartlarına hızla uyum sağladığını göstermektedir. Bu uygulamalar hem yolcu deneyimini kolaylaştırmakta hem de güvenlik ve operasyonel emniyetin güçlenmesine katkıda bulunmaktadır. Yakın gelecekte "Tek Kimlik – Tek Seyahat" vizyonunun uluslararası düzeyde hayata geçirilmesiyle, seyahat süreçlerinin daha güvenli, hızlı ve temassız bir yapıya kavuşması beklenmektedir. Yapay zekânın insanın yerini tamamen alması öngörülmemekle birlikte, bu sistemlerin insanla iş birliği içinde ilerleyeceği öngörülmektedir. Kritik karar alma süreçlerinde insanın sezgisel değerlendirmesi ve sorumluluk bilinci hâlâ temel önemdedir. Yapay zekânın kendi kendini geliştirme kapasitesi sınırlı olsa da zamanla olgunlaşarak

daha güvenilir hâle gelecektir. Ancak bu gelişim, insan denetimi ve etik yönetiminden bağımsız gerçekleşmemelidir.

Sonuç olarak, yapay zekâ destekli dijital kimlik yönetimi, havacılık sektörünün geleceğini şekillendiren en önemli yeniliklerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu sistemlerin uzun vadeli başarısı, yalnızca dijital dönüşüme değil, aynı zamanda etik hesap verebilirlik, kurumsal şeffaflık, veri gizliliği ve insan merkezli tasarım ilkelerine bağlıdır. Geleceğin havacılığı, yapay zekânın hesaplama gücüyle insan sezgisinin dengeli biçimde birleştiği, güvenilir, şeffaf ve insana duyarlı bir ekosistem üzerine inşa edilecektir.

Havayolu sektörü, dijital kimlik uygulamalarından yararlanmak için büyük bir potansiyele sahiptir. Yapay zekâ algoritmaları, havacılıkta yalnızca dijital kimlik çözümleriyle sınırlı kalmayacak; güvenliği, verimliliği ve karar süreçlerini destekleyici bir unsur olarak her alanda kullanılmaya başlanacaktır. Bu kapsamda, sektörde dijital çalışan kimliği için ortak bir şema geliştirilebilir. Kimlik tabanlı otomatik giriş rehberleri hazırlanarak küresel bir dijital kimlik çerçevesi oluşturulabilir. Yakın gelecekte, biyometrik veriler de dâhil olmak üzere tüm elektronik kimlik bilgilerinin tek bir platformda güvenli ve şeffaf biçimde saklanması sağlayacak bir güven kayıt sistemi kurulabilir. Havalimanları için biyometrik uyum rehberlerinin geliştirilmesi, uygulama birliğini ve güvenilirliği artıracaktır.

Dijital cüzdana kimliğin yalnızca bir kez yüklenmesi yeterli olacağından, bu sistem farklı havalimanlarında kullanıcı deneyimi test edilerek sürekli iyileştirilebilir. Böylece yolcular, her noktada hızlı ve zahmetsiz bir şekilde kimlik doğrulaması yapabilir. Kurumsal iş birliği anlaşmalarında dijital çalışan kimliği dijital cüzdanla entegre edilerek, müşterilerin hem kimlik hem de sadakat programı verilerine 7/24 erişim sağlaması mümkün olacaktır. Bu süreç, kullanıcı hikâyeleri ve sade kılavuzlarla desteklenerek, dijital kimliğin günlük operasyonlara nasıl kolaylık sağladığı açık biçimde gösterilebilir.

Devlet ve özel sektör tarafından sağlanacak dijital cüzdan entegrasyonlarının teşvik edilmesi, sistemin yaygınlaşmasını hızlandıracaktır. Dijital kimlik kullanan yolculara veya çalışanlara yönelik teşvik mekanizmaları oluşturularak, daha fazla bireyin bu sisteme katılımı sağlanabilir. Bununla birlikte devletler ve özel sektör kuruluşları arasında kimlik tanıma ve doğrulama konusunda karşılıklı mutabakatlar yapılabilir. Dijital kimliklerin başarılı biçimde hayata geçirilebilmesi için hukuki ve düzenleyici çerçevelerin güncellenmesi ve yapay zekâ destekli süreçlerin etik ilkelere uygun biçimde denetlenmesi gerekmektedir. Bu adımların atılması, yolcunun “tek kimlik- tek seyahat” deneyimini küresel ölçekte mümkün kılacak; havacılık sektörünü güvenli, şeffaf ve bütünleşik bir dijital kimlik ekosistemine taşıyacaktır.

## Kaynakça

- Abudureyimu, Y., ve Oğurlu, Y. (2021). Problems and solution proposals that artificial intelligence applications may cause regarding the protection of personal data. *Journal of Social Sciences of Istanbul Commerce University*, 20(40), 765–782.
- AI & EUROCONTROL. (2020, March). Using biometrics to accelerate secure boarding (FLY AI Report). *EUROCONTROL and European Aviation High Level Group On AI* <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-03/eurocontrol-fly-ai-report-032020.pdf>, Erişim Tarihi: 11.12.2025.
- Alanazi, M. S. M., Li, J., ve Jenkins, K. W. (2024). Evaluating Airport Service Quality Based on the Statistical and Predictive Analysis of Skytrax Passenger Reviews. *Applied Sciences*, 14(20), 9472. <https://doi.org/10.3390/app14209472>, Erişim Tarihi: 11.11.2025.
- Alshamaileh, L. (2023). *The use of biometric systems in critical infrastructures and their role in cybersecurity: Aviation industry focused* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Doctoral School of Safety and Security Sciences <https://exampleuniversityrepository.edu/thesis/alshamaileh2023>, Erişim Tarihi: 10.12.2024.
- Alshurideh, M., Alsharari, N., & Al Kurdi, B. (2019). *Supply chain integration and customer relationship management in the airline logistics. Theoretical Economics Letters*, 9(2), 392–414. <https://doi.org/10.4236/tel.2019.92029>, Erişim Tarihi: 08.11.2025.
- Blokchain Türkiye Platformu BCTR. (2025, September 23). Dijital kimlik sistemleri ve sektörel etkiler. *Türkiye Bilişim Vakfı – Blockchain Türkiye Platformu*. <https://bctr.org>, Erişim Tarihi: 07.11.2025.
- Bullchand-Gidumal, J. G. (2020). Impact of artificial intelligence in travel, tourism, and hospitality. *Institute for Sustainable Tourism and Economic Development (TIDES)*, University of Las Palmas de Gran Canaria. [https://acceda.cris.ulpgc.es/bitstream/10553/106011/2/impact\\_artificial\\_intelligence.pdf](https://acceda.cris.ulpgc.es/bitstream/10553/106011/2/impact_artificial_intelligence.pdf), Erişim Tarihi: 13.11.2025.
- Çevik, N., ve Akleylek, S. (2022). Havacılık sistemlerinde siber güvenlik. Ş. Sağiroğlu, S Akleylek (Ed.) *Siber Güvenlik ve Savunma Kitap Serisi 6: Siber Güvenlik Ontolojisi, Tehditler ve Çözümler* içinde (s. 293-324) 1. Basım Haziran İstanbul: Nobel Yayıncılık.
- Doğan, Ö., ve Karacan, H. (2022). Türkiye’deki e-ticarete özgü blokzincir tabanlı dijital kimlik güven çerçevesi önerisi. *Bilgi Yönetimi Dergisi*, 5(2), 256–279. <https://doi.org/10.33721/by.1113558>, Erişim Tarihi: 11.10.2025.
- ECAT. (2024, November 27). European Centre for Algorithmic Transparency. European Commission. <https://ec.europa.eu/ecat>, Erişim Tarihi: 13.10.2025.
- Elmarady, A. A., & Rahouma, K. (2021). Studying cybersecurity in civil aviation, including developing and applying aviation cybersecurity risk assess-

- ment. IEEE Access, 9, 143997-144016. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3121230>, Erişim Tarihi:09.12.2025.
- European Commission. (2023). European digital identity framework (eIDAS 2.0). *Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0281>, Erişim Tarihi:11.11.2025.
- European Union. (2014). Regulation (EU) No 910/2014 of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 on electronic identification and trust services for electronic transactions in the internal market and repealing Directive 1999/93/EC. *Official Journal of the European Union*.
- European Union. (2018). General Data Protection Regulation (GDPR): Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>, Erişim Tarihi:12.11.2025.
- Farrow, E. (2019). To augment human capacity — *Artificial intelligence evolution*. *AI Review*, 61, 45–58.
- Future Travel Experience. (2023, January). Istanbul Airport and Turkish Airlines test Star Alliance biometrics access system. <https://www.futuretravelexperience.com/2023/01/istanbul-airport-and-turkish-airlines-test-star-alliance-biometrics-access-system>, Erişim tarihi:12.11.2025.
- International Air Transport Association. (2025a). Exploring artificial intelligence and digital identity use cases in aviation: Project 777 / Project 321 (pp. 12–32). International Air Transport Association,
- International Air Transport Association. (2025b). Annual review *International Air Transport Association*. (pp. 1-58). <https://www.iata.org/en/programs/innovation/digital-identity>, Erişim Tarihi:04.11.2025.
- International Civil Aviation Organization. (2013). Aviation security manual (Doc. 9985). *International Civil Aviation Organization*. <https://elibrary.icao.in>, Erişim Tarihi:08.12.2025.
- International Civil Aviation Organization. (2016, July). Safety management (Annex 19). *International Civil Aviation Organization*. <https://caainternational.com/>, Erişim Tarihi:07.11.2025.
- International Civil Aviation Organization. (2019). Doc 9303 – Machine readable travel documents. Montreal, Canada: *International Civil Aviation Organization*.
- International Civil Aviation Organization. (2025, September 27). The impact of artificial intelligence on the aviation sector: Innovation in aviation (Agenda Item 20, Assembly 42, Session EX/168). *International Civil Aviation Organization*.
- International Civil Aviation Organization. (2025, September 27). The impact of artificial intelligence on the aviation sector: Innovation in aviation (Agen-



- da Item 20, Assembly 42, Session EX/168). *International Civil Aviation Organization*
- İGA. (2024). Biometrik geçiş ve dijital kimlik uygulamaları. <https://www.istairport.com/hizmetler/deneyim/havalimani-hizmetleri/hizli-pasaport-gecis>, Erişim Tarihi: 16.12.2025.
- İstanbul Airport. (2025, October 23). [istairport.com](https://www.istairport.com). <https://www.istairport.com>, Erişim Tarihi: 09.12.2025.
- İzmir Airport. (2025, October 19). [izmirairport.com](https://www.izmirairport.com). <https://www.izmirairport.com>, Erişim Tarihi: 09.12.2025.
- Jiang, X., Zhang, Y., ve Li, Y. (2022 July 01). Forecast and analysis of aircraft passenger satisfaction based on RF-RFE-LR model. *Sci Rep* 12, 11174 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14566-3>
- Jiang, Y., Tran, T. H., ve Williams, L. (2023). Machine learning and mixed reality for smart aviation: Applications and challenges. *Journal of Air Transport Management*, 111, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102437>, Erişim Tarihi: 01.11.2025.
- Kişisel Verileri Koruma Kurumu (KVKK). (2016, March 24). [kvkk.gov.tr](http://kvkk.gov.tr). <http://kvkk.gov.tr>, Erişim Tarihi: 20.11.2025.
- Meydan, C. H. (2023, February). Havayolu işletmelerinde dijital dönüşüm uygulamaları üzerine bir inceleme. *Journal of Aviation Research*, 5(1), 65–82.
- Noah, A., Moon, L., ve John, A. (2024, December). The consequences of non-compliance with data protection regulations on business analytics. *Business Analytics Review*, 12(4), 233–245. <https://www.researchgate.net/publication/386409782>, Erişim Tarihi: 15.11.2025
- Red Hat. (2025). Turkish Airlines pioneers AI-led innovation for aviation with Red Hat OpenShift AI. <https://www.redhat.com>, Erişim Tarihi: 12.12.2025.
- Sing, P. K. B. (2025). Data-driven catering services: Reducing food waste and maximizing profit. *Airline Customer Experience* içinde (ISBN 9781003625100).
- Singh, R. P., Javaid, M., Haleem, A., ve Suman, R. (2020). Internet of Things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome*, 14(4), 521–524. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.041>, Erişim Tarihi: 14.12.2025.
- Şahan, D. (2025). Hava kargo endüstrisinde dijitalleşme: IATA programları üzerine bir vaka çalışması. *İzmir Yönetim Dergisi*, 6, 160–173. <https://doi.org/10.56203/iyd.1668548>, Erişim Tarihi: 12.12.2025.
- Takçı, H. (2020). Saldırı tespit sistemleri ve log (günlük) analizi. Sağıroğlu, S. Akleyek (Eds.), *Siber Güvenlik ve Savunma: Biyometrik ve Kriptografik Uygulamalar* içinde (s. 29–53). Ankara: Nobel Yayıncılık.



- Ullah, A. (2025). The effect of artificial intelligence (AI) on customer experience. *Science PG Journal of Technology and Science*, 13(2), 54–60. <https://doi.org/10.11648/j.ijsts.2025.13.02.13>, Erişim Tarihi:09.12.2025.
- Ünal, G., ve Uluyol, Ç. (2020, Nisan). Blok zinciri teknolojisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(2), 56–65. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.542417>, Erişim Tarihi:20.11.2025.
- Windley, P. J. (2005). Digital identity: Unmasking identity management architecture. O'Reilly Media Inc. ISBN: 0-596-00875-3

# Havacılık Yönetiminde Yapay Zeka Uygulamaları

Prof. Dr. Vahap Önen