

Yapay Zekâ ile Havalimanlarının Dönüşümü: Singapur Changi Havalimanı

Ayşe Küçük Yılmaz¹

Büşra Karakuş²

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 başlanmıştır. 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).

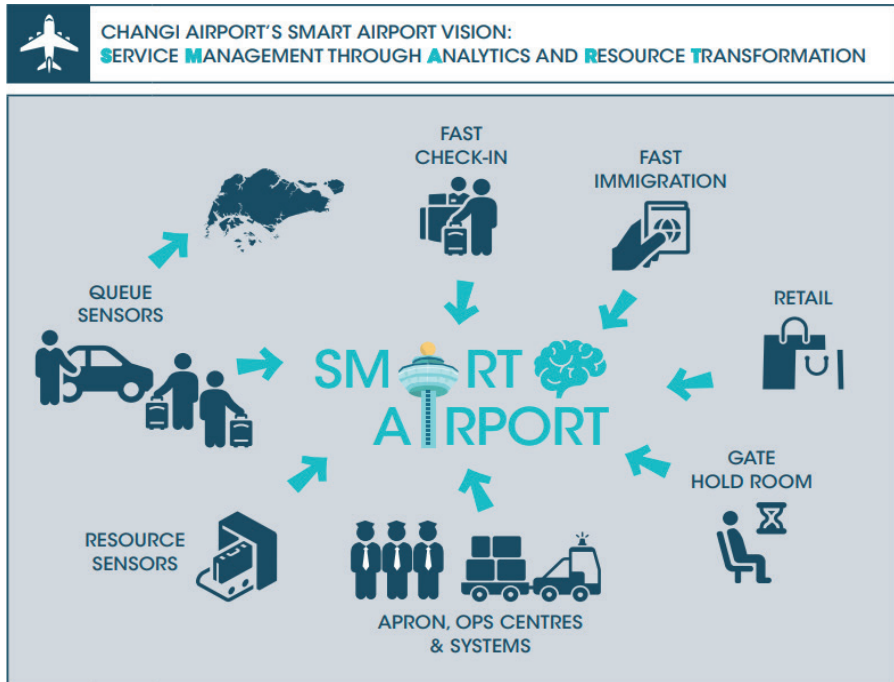
Singapur Changi Havalimanı'nın başarılı bir konumda olmasının bir diğer sebebi havalimanı tesislerine yönelik sürekli eklemeler ve iyileştirmeler yapılmasıdır. Buna örnek olarak Jewel Changi Havalimanı kısmında sunduğu 500'ü aşkın perakende mağazası ve 260 farklı yemek seçeneğiyle diğer havalimanlarını 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

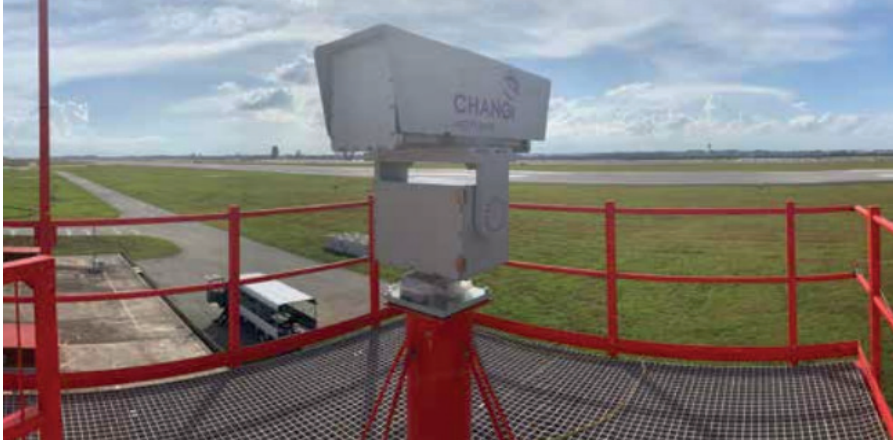
Singapur Changi Havalimanı'nın en büyük önceliklerinden biri operasyonel mükemmelliktir. Bunun için güvenli, emniyetli ve sorunsuz bir havalimanı ortamı sunmaya çabalamaktadır. Bu yüzden Singapur Changi Havalimanı, Havaalanı Acil Durum Hizmetleri (AES)'in kilit operasyonel faaliyetlerini yerine getirme 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 dayanarak hizmet kalitesini yükseltmek için çalışmaktadır. 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 zekâya 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 Vê 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>

