



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN TÜRKİYE'DEKİ SİVİL HAVACILIK
SEKTÖRÜNE ETKİLERİ VE HAVACILIK 4.0 UYGULAMALARI**

Merve Sefa TİLEĞİ

**Kasım-2025
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN TÜRKİYE'DEKİ SİVİL HAVACILIK
SEKTÖRÜNE ETKİLERİ VE HAVACILIK 4.0 UYGULAMALARI**

Merve Sefa TİLEĞİ

**Danışman
Doç. Dr. Sevgi IŞIK EROL**

**Diğer Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Fethiye Müge SAKAR Dr. Öğr. Üyesi Uyum ELİTOK**

**Kasım-2025
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Merve Sefa Tileği tarafından hazırlanan “Dijital Dönüşümün Türkiye’deki Sivil Havacılık Sektörüne Etkileri Ve Havacılık 4.0 Uygulamaları” adlı tez çalışması 19/11/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Fethiye Müge SAKAR

.....

Danışman

Doç. Dr. Sevgi IŞIK EROL

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Uyum ELİTOK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

İmza
Merve Sefa TİLEĞİ
Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN TÜRKİYE’DEKİ SİVİL HAVACILIK SEKTÖRÜNE ETKİLERİ VE HAVACILIK 4.0 UYGULAMALARI

Merve Sefa TİLEĞİ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İşletme Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevgi IŞIK EROL

2025, 90 Sayfa

Dijital dönüşüm, endüstri 4.0’ın sonucunda hayatımızın her alanında gerçekleşen dijitalleşme hareketinin bir tanımıdır. Endüstriyel devrimler; iş yapış biçiminde, sosyal hayatta ve günlük yaşamda köklü değişikliklere yol açmaktadır. 2011 yılında Hannover Fuar’ında ortaya çıkan endüstri 4.0 terimi geçen seneler içerisinde büyük ve hızlı gelişmeler kaydederek bugünkü halini almıştır. Bazı uzmanlar tarafından “*dijital dönüşüm*”, “*dijital çağ*” olarak da adlandırılan bu endüstriyel devrimin en önemli özelliği hayatın her alanına kolay ve erişilebilir dijital ürünleri entegre etmesidir. Dijital dönüşümü iyi anlamak, takip etmek ve süreçlere dahil etmek her şeyin dijital kanallarla yönetildiği günümüz dünyasında elzemdir. Sağlık sektörü, otomotiv sektörü, finans sektörü ve havacılık sektörü dijital dönüşümü yakından takip etmiş ve büyük ölçüde iş yapış biçimlerini bu dönüşüm doğrultusunda değiştirmiştir. Havacılık sektörü, uluslararası otoriteler tarafından kontrol edilen yüksek güvenlik ve emniyet tedbirleri alınan, maliyeti yüksek ve kâr marjı düşük bir sektördür. Bu sebeplerden dolayı dijital dönüşüm sonucunda ortaya çıkan uygulamalar havacılık sektörü açısından oldukça kolaylaştırıcıdır. Dijital dönüşümün büyük veri teknolojisi, yapay zekâ, nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT) ve simülasyon teknolojileri gibi birçok temel bileşeni vardır. Bu bileşenlerin neredeyse hepsi havacılık sektörünün dönüşümünde rol oynamaktadır. Büyük veri teknolojisi sayesinde geleneksel yöntemlerle analiz edilemeyen veriler kolaylıkla toplanıp analiz edilebilmekte ve karar alma süreçlerini kısaltmaktadır. Yapay zekâ sayesinde geliştirilen uygulamalar hava araçlarının durum ve ihtiyaçlarını anlık analiz etmekte ve kayıt altında tutmaktadır bu sayede hava araçlarının planlı bakım ve onarımlarının düzenli takibinin yanı sıra plansız bakım ve onarım ihtiyacı da büyük kayıplara yol açacak sorunlar yaşanmadan tespit edilip gerçekleştirilmektedir. Simülasyon teknolojisi sayesinde geliştirilen uçuş eğitim simülatörleri pilot adaylarının eğitiminde kullanılmakta bu sayede yüksek eğitim uçuşu maliyetleri kısılmakla beraber pilot adayları ön görülen her koşula karşın tecrübe kazanarak meslek hayatına başlamaktadırlar. Havacılık sektörü dijital dönüşüm sürecini etkin ve faydalı yönetmiş, geliştirilen uygulamalar sektöre değer katmıştır. Bu dönüşüm karşısında ülkelerin (havalimanı inşaa ve yönetimi açısından) ve hava yolu şirketleri ve iştiraklerinin de durumu oldukça önemlidir. Bu çalışmada dijital dönüşümün sivil havacılığa etkileri ve bu etkiler karşısında Türkiye’deki sivil havacılık faaliyetlerindeki değişim ve gelişimler araştırılmıştır. Araştırmada gözlem, kaynak incelemeleri, veri toplama ve analiz etme, veri yorumlama, çıkarım yapma, karşılaştırmalı analiz yöntemleri kullanılmıştır. Sektördeki öncü şirketler ve ülkelerin dijital dönüşüm sürecinde geliştirdiği sivil havacılık uygulamaları incelenmiş, Türkiye’deki öncü havalimanlarının yapısı ve işleyişi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda Türkiye, gelişmiş havalimanları ve yüksek kalite standartlarında hizmet veren bayrak taşıyıcı havayolu şirketi Türk Hava Yolları (THY) ile sivil havacılık sektöründe ön planda olduğu saptanmıştır. Türkiye’nin sivil havacılık tarihinin gelişimi ve güncel durumu havacılık sektörünü

yakından takip ettiğini göstermektedir. THY ve Pegasus başta olmak üzere Türkiye menşeli hava yolu şirketleri de dünyadaki dijital dönüşüm gelişmelerini yakından takip etmekte ve kendi uygulamalarını geliştirmektedirler. Türkiye, sivil havacılıkta yer bulan dijital dönüşüm uygulamalarını kendi havalimanlarına entegre etmiştir ve ar-ge çalışmaları sayesinde havalimanlarını sürekli geliştirmeye devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Devrimler, Endüstri 4.0, Dijital Dönüşüm, Sivil Havacılık, Türkiye.



ABSTRACT

MASTER THESIS

THE IMPACTS OF DIGITAL TRANSFORMATION ON THE CIVIL AVIATION INDUSTRY IN TÜRKİYE AND AVIATION 4.0 APPLICATIONS

Merve Sefa TİLEĞİ

Batman University Graduate Education Institute

Bussiness Department of Science

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Sevgi IŞIK EROL

2025, 90 Pages

Digital transformation is defined as the movement towards digitalization that occurs in all aspects of our lives as a result of Industry 4.0. Industrial revolutions bring about profound changes in business practices, social life, and daily living. The term Industry 4.0, which emerged at the Hannover Fair in 2011, has experienced rapid and significant development over the years, leading to its current form. Some experts also refer to this industrial revolution as the "*digital age*" or "*digital transformation*". Its most important feature is integrating easily accessible digital products into every aspect of life. Understanding, monitoring, and incorporating digital transformation into processes are crucial in today's world, where everything is managed through digital channels. Industries such as healthcare, automotive, finance, and aviation closely follow digital transformation and have largely changed their ways of doing business accordingly. The aviation sector, which is characterized by high safety and security measures, high costs, and low profit margins, benefits considerably from digital transformation applications. These developments significantly facilitate operations within the industry. Digital transformation encompasses fundamental components such as big data technologies, artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), and simulation technologies. Almost all of these components play a role in the sector's transformation. Thanks to big data technologies, data that could not be analyzed with traditional methods can now be collected and analyzed easily, thereby shortening decision-making processes. Artificial intelligence enables the development of applications that analyze and record aircraft conditions and needs in real-time, facilitating both scheduled maintenance and unexpected repairs. These solutions help identify potential issues before they result in costly disruptions. Simulation technology, used in flight training simulators, aids pilot candidates' training, reducing high costs associated with actual flight hours. It also allows pilots to gain experience in predetermined scenarios, preparing them for various conditions they may encounter throughout their careers. The aviation sector has effectively managed and benefited from digital transformation, adding significant value through innovative applications. The stance of countries (particularly regarding airport construction and management) as well as airline companies and related stakeholders, is also crucial in this process. This study investigates the impacts of digital transformation on civil aviation and examines the changes and developments in civil aviation activities in Türkiye in response to these effects. The research employs observation, literature review, data collection and analysis, data interpretation, inference, and comparative analysis methods. It explores the pioneering companies and countries' civil aviation applications developed during the digital transformation process and investigates the structure and operation of leading airports in Türkiye. As a result of the study, it has been determined that Türkiye is prominent in civil aviation, highlighted by its advanced airports and the high-quality services provided by flag carrier Turkish Airlines (THY). The development of Türkiye's civil aviation

history and its current status demonstrate the sector's close follow-up of global trends. Turkish Airlines, Pegasus, and other Türkiye-based airlines closely monitor worldwide digital transformation developments and continuously enhance their own applications. Furthermore, Türkiye has integrated the digital transformation applications within civil aviation into its airports and continues to improve these facilities through research and development initiatives.

Keywords: Industrial Revolutions, Industry 4.0, Digital Transformation, Civil Aviation, Türkiye



ÖN SÖZ

Bu tezin amacı hayatımızın her alanında köklü değişikliklere yol açan dijital dönüşümün sivil havacılıkta hayat bulduğu alanları incelemek ve konuyu Türkiye’deki sivil havacılık sektörü açısından ele almaktır. Bu tez ile endüstri 4.0 sonucunda dijital dönüşümün de etkisi ile “*Havacılık 4.0*” uygulamalarının her açıdan ele alınması, sektöre etkilerinin incelenmesi ve Türkiye’deki sivil havacılık sektörünün bu dönüşümle beraber uyguladığı ve geliştirdiği yeniliklerin her yönüyle ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu uzun ve zorlu süreçte yanımda olan ve desteğini hissettiren herkese teşekkür ederim.

Merve Sefa TİLEĞİ
BATMAN-2025



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖN SÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
RESİMLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
Araştırmanın Yöntemi	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. DİJİTAL DÖNÜŞÜM.....	7
3.1. Dijital Dönüşümün Bileşenleri.....	7
3.2. Dijital Dönüşümün Avantajları	10
3.3. Dijital Dönüşümün Dezavantajları.....	12
3.4. Türkiye’de Dijital Dönüşüm	14
4. ENDÜSTRİYEL DEVRİMLER.....	17
4.1. Endüstri 1.0: Birinci Sanayi Devrimi	17
4.2. Endüstri 2.0: Kitlesel Üretim	18
4.3. Endüstri 3.0: Bilgisayar Devrimi	19
4.4. Endüstri 4.0	20
4.4.1. Yapay zekâ	21
4.4.1.1. Yapay zekânın kullanıldığı başlıca alanlar.....	22
4.4.1.2. Yapay zekâ türleri	22
4.4.2. Nesnelerin interneti	23
4.4.3. Robotik ve otomasyon.....	24
4.4.4. Büyük veri (Big data).....	26
4.4.5. Siber fiziksel sistemler	28
4.4.6. Bulut Bilişim Teknolojisi	30
4.4.6.1. Bulut bilişim teknolojisinin servis modelleri	30
4.4.6.2. Bulut bilişim teknolojisinin dağıtım modelleri	31
4.4.7. Akıllı Fabrikalar	32
4.4.8. Simülasyon	34
4.4.9. 3D Yazıcılar	35
5. SİVİL HAVACILIK	38

5.1. Sivil Havacılık Tarihi	39
5.1.1. Havacılığın Öncü Dönemi-Havacılık 1.0 (1630-1914).....	39
5.1.2. İkinci Dünya Savaşı Dönemi-Havacılık 2.0 (1915-1945).....	41
5.1.3. Savaş Sonrası Dönem-Havacılık 3.0 (1945-1990).....	42
5.1.4. Modern Havacılık Dönemi-Havacılık 4.0	42
5.2. Türkiye’de Sivil Havacılık Tarihi	43
5.2.1. Cumhuriyet öncesi dönem.....	43
5.2.2. Cumhuriyet sonrası dönem	44
5.2.2.1. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü	47
5.2.2.2. Devlet Hava Meydanları İşletmesi	47
6. SİVİL HAVACILIK SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM	49
6.1. Dijital Dönüşüm Bileşenlerinin Sivil Havacılık Sektörüne Etkileri ve Havacılık	
4.0 Uygulamaları	50
6.1.1. Sivil havacılık sektöründe kullanılan yapay zekâ uygulamaları	50
6.1.2. Sivil havacılık sektöründe kullanılan CPS uygulamaları.....	51
6.1.3. Sivil havacılık sektöründe kullanılan IoT uygulamaları	52
6.1.4. Sivil havacılık sektöründe kullanılan robot ve otomasyon sistemleri.....	53
6.1.5. Sivil havacılık sektöründe kullanılan büyük veri uygulamaları.....	54
6.1.6. Sivil havacılık sektöründe kullanılan simülasyon teknolojileri	56
6.2. Havalimanlarının Dijital Dönüşümü	57
6.2.1. Yapı Bilgi Modellemesi	60
6.2.2. Gelişmiş Yer hareketleri Rehberlik ve Kontrol Sistemi	61
6.2.3. Havaalanı Operasyon Kontrol Merkezi.....	62
6.2.4. Dijital ikiz ile havalimanı yönetimi.....	64
6.3. Hava Yolu Şirketlerinde Dijital Dönüşüm	65
6.3.1. Self-servis hizmetler.....	65
6.3.1.1. Kiosk check-in/self check-in	66
6.3.1.2. Mobil biniş kartı (barkod)	66
6.3.1.3. Express bagaj hizmeti.....	67
6.3.1.4. Çipli kimlik kartı ile uçuş deneyimi	67
6.3.2. Akıllı seyahat asistanı teknolojisi.....	68
6.3.3. Dijital apron	68
6.4. Türkiye Menşeli Hava Yolu Şirketlerinin Yurt İçi Havalimanlarındaki Dijital	
Check-in Uygunlukları	69
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
7.1. Sonuçlar.....	75
7.2. Öneriler.....	78
KAYNAKLAR	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Dijital dönüşümün 5 temel bileşeni.....	8
Şekil 4.1. Fiziksel sistemlerin 5C mimarisi.....	29
Şekil 4.2. Akıllı fabrikaların bileşenleri	33
Şekil 6.1. Sivil havacılıkta büyük veri kullanım alanları	55
Şekil 6.2. 2015-2029 Tahmini küresel yolcu pazarı	57



RESİMLER LİSTESİ

Resim 5.1. Wright kardeşlerin Flyer ile uçuşu	40
Resim 5.2. Vecihi K-VI.....	44
Resim 5.3. Türk Eğitim ve Avcı Uçağı Nu.D-36	45
Resim 5.4. İlk Türk Yolcu Uçağı Nu.D.38	46



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 6.1. Türkiye menşeli hizmet veren hava yolu şirketlerinin mobil check-in ve kiosk check-in hizmetlerinin havalimanlarındaki durumu.....	70
Tablo 6.2. Türkiye meşeli hava yolu şirketlerinin Türkiye'deki havalimanlarında hizmet verme oranları.....	72
Tablo 6.3. Türkiye meşeli hava yolu şirketlerinin Türkiye'deki havalimanlarındaki mobil check-in hizmet oranları.....	73
Tablo 6.4. Türkiye meşeli hava yolu şirketlerinin Türkiye'deki havalimanlarında kiosk check-in hizmet oranları.....	73
Tablo 6.5. Türkiye menşeli hava yolu şirketlerinin Türkiye'deki havalimanlarında mobil check-in ve kiosk check-in hizmetlerinin karşılaştırması.....	74



KISALTMALAR

ABD: Amerika Birleşik Devletleri
ACI: Airports Council International
AI: Artificial Intelligence
AOCC: Airport Operations Control Center
Ar-ge: Araştırma Geliştirme
A-SMGCS: Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems
BIM: Building Information Modeling
BM: Birleşmiş Milletler
CPS: Cyber-Physical Systems
CRM: Customer Relationship Management
DHMI: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
FAA: Federal Aviation Administration
FFS: Full Flight Simulator
HGS: Hızlı Geçiş Sistemi
IaaS: Infrastructure as a Service
IATA: International Air Transport Association
ICAO: International Civil Aviation Organisation
IoT: Internet of Things
İGA: İstanbul Grand Airport
İHA: İnsansız Hava Aracı
KHK: Kanun Hükmünde Kararname
Km: kilometre
ML: Machine Learning
NLP: Natural Language Processing
PaaS: Platform as a Service
PBN: Performance Based Navigation
PLC: Programmable Logic Controller
SaaS: Software as a Service
SHGM: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
THY: Türk Hava Yolları
WHO: World Health Organization

1. GİRİŞ

18. yüzyılda başlayan sanayi devrimi ile onu takip eden ve gelişimi hızla devam etmekte olan endüstriyel devrimler, oluşturdıkları etkiler bakımından kısa dönemlerde yeniçağlar meydana getirmiştir. Buhar gücünün endüstriyel alanlarda kullanımı ile 18. yüzyılda başlayan birinci sanayi devrimi, pamuklu tekstil, demir ve kömür endüstrisinde yeniliklere yol açarak üretim süreçlerini köklü bir şekilde değiştirmiştir. 19. yüzyılın ortalarına kadar devam eden buhar devrimini 1860'lı yıllarda elektrik enerjisinin kullanımı, içten yanmalı motorların geliştirilmesi gibi gelişmeler ikinci sanayi devrimini başlatmıştır. Yaşanan gelişmelerle üretim sürecinin daha mekanize olması ve otomotiv sanayisinin doğuşu ile üretimde kitlesel (fordist) üretim tarzı benimsenmiştir (Yertüm, 2017, s. 78-79). İkinci endüstriyel devrim, pazar ekonomisinin gelişimini hızlandırmış, uluslararası ticaretin önünü açarak küreselleşmeye zemin hazırlamıştır. “*Teknolojik Devrim*” olarak nitelendirilen ikinci sanayi devrimini dijital teknolojilerin ve bilgisayarların serüvenini kapsayan üçüncü sanayi devrimi takip etmiştir. 1970’li yıllarda sanayinin bilgi teknolojileriyle entegrasyonunu içeren üçüncü sanayi devrimi, sanayide otomasyonu ve üretim süreçlerinin dijitalleşmesini sağlayarak işletmelerin daha verimli çalışmasına olanak tanımıştır. Aynı zamanda, iş gücü taleplerinde de değişiklikler yaşanmış; teknolojiye hâkim olan bireylerin önemi artmıştır (Kılıç R. , 2023, s. 280-282).

Dördüncü Sanayi Devrimi ile günümüzde dijital dönüşüm süreci hız kazanmış ve üretimden hizmet sektörüne kadar pek çok alanda köklü değişiklikler meydana gelmiştir. 2011 yılında Almanya’da Hannover Fuarı ile literatüre giren “Endüstri 4.0” kavramı, bu dönüşümün simgesi hâline gelmiştir. Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde otomasyon teknolojilerinin, yapay zekânın, nesnelerin internetinin (Internet of Things-IoT) ve büyük verinin entegrasyonunu ifade eder. Bu dönüşümle vasıf gerektirmeyen, tekrara dayalı işler makineler ve otomasyon sistemleri tarafından üstlenilmekte; insan gücü ise daha karmaşık, tasarım ve problem çözme yetisi gerektiren alanlara yönlendirilmektedir (Kabakçı, 2023, s. 14). Dijital dönüşüm; sağlıktan eğitime, ulaşımdan alışverişe hayatımızın her noktasında vazgeçilemez bir unsur haline gelmiş ve bütün sektörlerle de bu dönüşüme ayak uydurmaktan, ar-ge çalışmaları ile dönüşüme destek olmaktan başka olanak bırakmamıştır. Her sektörde olduğu gibi sivil havacılık sektöründe de dijital

dönüşümün etkilerini görmek mümkündür. Uluslararası otoritelere bağlı ve küresel pazara sahip olan sivil havacılık sektörü, alt sektörleriyle birlikte gelişmeleri yakından takip etmekte; geliştirdiği projeler, yazılımlar ve yeni sistemlerle dijital dönüşümünü sürdürmektedir. Havacılık sektörü güvenlik zafiyeti kabul etmemektedir ve ön görülen riskleri kabul edilebilir minimum seviyede tutmak mecburiyetindedir. Dijital dönüşümün havacılık sektörüne en büyük katkılarından biri, güvenlik ve risk yönetimi açısından düşük yanılma payı ve yüksek veri doğruluğu sayesinde sistemsel avantajlar sağlamasıdır. Ulusal ve uluslararası otoriteler, hava yolu şirketleri, yer hizmetleri şirketleri, uçak üretim şirketleri başta olmak üzere bünyesinde bulundurduğu bütün alt sektörler teknolojik gelişmelerden ve dönüşümden faydalanmaktadır. Küçük dijital değişimlerle büyük farklar sağlayan havacılık sektörü ve bünyesindeki alt sektörlerin dönüşüm süreçleri, bu gelişmelerin kronolojik olarak incelenmesini ve Türkiye Sivil Havacılık Sektörü açısından değerlendirilmesini gerekli kılmıştır. Türkiye, stratejik konumu ve büyüyen hava trafiği ile sivil havacılık alanında dikkat çeken bir ülke haline gelmiştir. Ülkenin çeşitli havalimanları ve uluslararası hava yolları, dijitalleşme sürecine uyum sağlayarak daha verimli, güvenli ve kullanıcı odaklı hizmet sunma hedefindedir. Bu noktada "*Havacılık 4.0*" kavramı, sektörün dijital dönüşüm sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Havacılık 4.0, endüstriyel internet, otomasyon ve dijitalleşme unsurlarını bir araya getirerek, hem altyapı hem de hava taşıma hizmetlerinde inovasyonu teşvik etmektedir (Karakuş, 2022, s. 797-802). Havalimanlarının modernizasyonu, hava yollarının sunduğu teknoloji destekli hizmetler ve dijitalleşmeye yönelik yatırımlar, Türkiye sivil havacılığını dönüştüren önemli adımlardır. Bu alanda geliştirilen ve uygulanan dijital dönüşüm stratejileri, sektörü küresel ölçekte daha rekabetçi hâle getirmek açısından büyük önem taşımaktadır.

Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışmada gözlem, kaynak incelemeleri, veri toplama ve analiz etme, veri yorumlama, çıkarım yapma, karşılaştırmalı analiz yöntemleri kullanılmıştır. Yazılı kaynaklar, havacılık sektöründe öncü şirketler incelenmiş ve sunulan dijital platformlar, geliştirilen uygulamalar yorumlanmıştır. Söz konusu platform ve uygulamaların avantajları-dezavantajları ele alınmış, sektör içerisindeki iştiraklerini ve rakiplerini nasıl etkiledikleri derleme kaynaklardan nitel ve nicel veriler kullanılarak analiz edilmiştir.

Veriler internet ortamında paylaşılan istatistiksel veriler, yayımlanan rapor ve makalelerden toplanmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

“Dijital Dönüşümün Türkiye’deki Sivil Havacılık Sektörüne Etkileri Ve Havacılık 4.0 Uygulamaları” konulu tez çalışması kapsamında yapılan kaynak araştırmasında en fazla dikkat çeken unsur Türkçe kaynakların 2021 yılından sonra arttığı ve buna rağmen (ulaşılabilir kaynaklar ışığında) yetersiz olduğu yönündedir. Dijital dönüşüm etkilerini sivil havacılık sektörü açısından ele alan çalışmaların az olması, konuyu Türkiye’deki Sivil Havacılık Sektörü açısından sadece bir veya birkaç dijital dönüşüm bileşeni baz alarak açıklanması ve kapsamlı bir çalışma bulunmaması bu çalışmayı yapma ihtiyacı doğurmuştur.

Marcel Bernard (2012) tarafından yapılan çalışmada, simülasyon teknolojisi kullanılarak geliştirilen uçuş simülatörlerini incelemiştir. Simülatörlerin pilot eğitimi alanındaki etkilerine ve Federal Havacılık İdaresi (Federal Aviation Administration-FAA) tarafından konulan standartlara göre kullanılan simülatör türlerine ve özelliklerine değinilmiştir. Simülatör eğitim cihazlarının kullanılmasının zamandan, paradan ve çevreden tasarruf sağladığı sonucuna ve güvenli uçuşlar için iyi bir araç olduğu kanaatine varılmıştır.

Arda Mevlütoğlu (2013), *“Uçuş Eğitiminde Simülatörler”* başlığı ile havacılık alanında yetiştirilen personel eğitiminde kullanılan simülatörleri, simülatörler modellerini ve sistem yapısını incelemiştir. Çalışmasında havacılık alanında yapılacak en küçük hatanın büyük felaket ve can kayıplarına yol açacağını belirten Mevlütoğlu, geliştirilen simülatörler sayesinde riskli, maliyetli ya da tekrar edilmesi zor durum ve koşulların deneyimlenmesinde büyük faydalar sağladığını; planlama ve eğitim operasyonlarında takip ve ölçüm etkenlerini sürece dâhil ettiğini öne sürmüştür. Ayrıca havacılık faaliyetlerinde bu alana özel bir önem verilmesi gerektiğini savunmuştur.

Pamir Sevinçel (2018) tarafından yapılan çalışma, Havacılık 1.0’dan Havacılık 4.0’a kadar geçirilen sürede yapılan çalışmaları ve geliştirilen teknolojileri incelemektedir. Havacılığın tarihsel sürecine yer verilirken aynı zamanda dijital dönüşümün havacılık alanında meydana getirdiği etkiler tartışılmıştır. Süreç içerisinde uçakların geliştirilmesinin gecikmeli tamamlandığını öne sürerek bunun sebebinin kamusal alanda oluşturduğu çevre ve gürültü kirliliği olduğunu ve yüksek maliyetler gerektirdiğini belirtmiştir. Havacılık 4.0 uygulamalarını devrim niteliğinde gören

Sevinçel, çalışmasını “*Şehirlerimizin geleceği göklerde!*” sloganı ile bitirerek havacılık alanında yapılan çalışmaların önemini vurgulamıştır.

Melih Cemal Kuşhan (2019), havacılığın kritik noktalarından biri olan uçak bakım-onarım alanındaki endüstri 4.0 etki ve uygulamalarını inceleyen bir çalışma yazmıştır. Endüstriyel devrimlerin geçişlerine yer veren çalışmada, önümüzdeki yıllar içerisinde yaşanacak uçak artışının bakım ve onarımı zorlaştıracığı ön görülmektedir. Çalışmada ele alınan ANASYS yazılımının oluşturduğu dijital ikizler sayesinde uçak parçalarının erken aşamalarda analiz ve kontrollerinin yapılmasına olanak sağlayarak olası problemlerin önüne geçtiği öne sürülmektedir. Kuşhan, teknolojinin hedef değil kolaylaştırıcı olması gerektiğini belirterek endüstri 4.0’ın getirdiği fırsatlardan yararlanmanın geleceğin fabrikasını geliştirmek için akıllıca bir yöntem olduğunu öne sürmektedir.

Okşan Artar ve Uğur İlhan Türkay (2021) tarafından yapılan “*Havacılık Sektöründe Havalimanlarının Dijital Dönüşümü*” başlıklı çalışmada özellikle endüstri 4.0 bileşenlerinden biri olan büyük veri teknolojisinin sektöre etkileri üzerinde durulmuştur. Diğer bileşenlere de değinen Artar ve Türkay, dijital dönüşüm sonucunda ortaya çıkan havacılık uygulamalarını (self check-in, akıllı ödeme, yüz tanıma teknolojisi vs.) İstanbul Havalimanı (İstanbul Grand Airport-İGA) da dâhil olmak üzere dünyanın önde gelen 6 havalimanı arasında incelemiş ve kapsayıcı bir tablo oluşturmuştur. Bunların yanı sıra ele aldığı havalimanlarını mevcut durum ve hedefleri doğrultusunda açıklamış ve karşılaştırmıştır. Araştırmanın sonucunda, dijital dönüşüm araçlarının nerdeyse hepsinin havacılık sektöründe kullanıldığı ve mobil uygulama kullanan sektör şirketlerinin avantaj elde ettiği kanaatine varılmıştır.

Erdal Dursun (2021), sivil havacılıkta kullanılan büyük veri teknolojisini ele almıştır. Özellikle pandemi sürecinde yeni arayışlara giren sektörün başvurduğu başlıca yöntemin bu teknolojinin kullanımı olduğunu öne süren Dursun, büyük veri teknolojisinin sektörün her alanında büyük avantajlar meydana getirdiği ve müşteri ilişkilerini geliştirmede kritik bir rol oynadığını belirtmektedir.

Pelin Gümüş Bıçkın, Meltem Çiçek ve M. Hasan Uncular (2021) tarafından yapılan çalışmada Pegasus Hava Yolları incelenerek teknolojinin pazarlamadaki yeri ve önemi araştırılmıştır. Pegasus’un geliştirdiği ve uyguladığı teknolojik çözümleri detaylıca anlatan çalışmada derinlemesine mülakat ve betimlere araştırma yöntemi kullanılmıştır. Pegasus Hava Yolları Bilgi Teknolojileri Direktörü ve Pegasus Hava Yolları Müşteri İlişkileri Yönetimi (Customer Relationship Management-CRM) Çözümleri Müdürü ile

yapılan mülakatlar sonucunda toplanan veriler analiz edilmiş ve betimlenmiştir. Düşük maliyetli hava yolu iş modelini benimseyen Pegasus'un toplam maliyet odaklı yürüttüğü strateji ile kaynak yönetimi ve maliyet optimizasyonunda verimlilik kazandığı kanaatine varılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda kullanılan teknolojilerin hem şirket hem de müşteriler açısından olumlu sonuçlar doğurduğu anlaşılmaktadır.

Serap Seçkiner, Metehan Atay ve Yunus Eroğlu (2021) tarafından yapılan *“Robotik Süreç Otomasyonlarının Pandemi Dönemi Havacılık Sektörü Uygulamaları ve Geleceği”* başlığı ile yapılan çalışmada havacılık sektörünü derinden etkileyen ve büyük maddi kayıplara yol açan pandemi dönemi zaman aralığı alınarak havacılıkta kullanılan RSO sistemleri incelenmiştir. Özellikle düşük maliyetli havayolu şirketleri için RSO'ların büyük avantajlar sağlayacağını öne süren çalışmada, gelecekte geliştirilmesi planlanan sistemlere de değinilmiştir. Türkiye'nin bu sistemleri geliştirme ve kullanma noktasında eksik olduğu belirtilerek yazılım robotlarının geliştirilmesi gerektiğini ve bunun ileride zaruri bir ihtiyaç olacağı ön görülmüştür.

Cem Harun Meydan (2023), yaptığı çalışmada havacılıkta dijital dönüşüm uygulamalarını, hava yolu şirketlerinin geliştirdiği ve kullandığı uygulamalar açısından incelenmiştir. Hava yolu şirketlerinin *satış-pazarlama, operasyon yönetimi, kaynak yönetimi, bakım yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi ve iş birliği yönetim sistemleri* faaliyet alanlarında kullanılan dijital dönüşüm trendlerini tablo halinde teker teker incelemiş ve örnek uygulamalara yer vermiştir. Çalışmada hâlihazırda kullanılan ve geliştirileceği tahmin edilen uygulamalar incelenmiş ve sonucunda sürdürülebilir rekabet avantajını elinde tutmak isteyen işletmelerin dijital dönüşüm uygulamalarına yaptıkları yatırımların devam edeceği kanaatine varılmıştır.

Dijital ikizler, havacılıkta tasarım, bakım ve operasyonları optimize ederek güvenlik, maliyet ve verimlilik sağlayarak havacılıkta büyük avantajlar sağlayan teknolojik sistemlerdir. Aybüke Nacak (2024), dijital ikiz uygulamalarının havacılık sektörüne olan etkilerini ve havacılık alanında kullanılan dijital ikiz uygulamalarını araştıran bir çalışma ortaya koymuştur. Dijital ikiz nedir, neden kullanılır, avantajları nelerdir, hangi sistemleri içerir ve hangi dijital dönüşüm bileşenlerinden yararlanır gibi sorular temel alınarak, havacılık alanında kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür.

3. DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Dijital dönüşüm, organizasyonların, bireylerin ve toplumların dijital teknolojileri benimseyerek süreçlerini, iş modellerini ve etkileşimlerini köklü bir şekilde değiştirme sürecidir. Bu dönüşüm süreci, çeşitli teknolojilerin uyumu ve veri analitiği, yapay zekâ, IoT gibi yenilikçi çözümlerle desteklenmektedir. Süreç işlemeye ve kendini yenilemeye hızla devam ettiğinden dolayı gelişime ve değişime açıktır. Bu sebeple dijital dönüşümü net bir varış noktası ile tanımlamak güçtür (Bozkurt vd., 202, s.40).

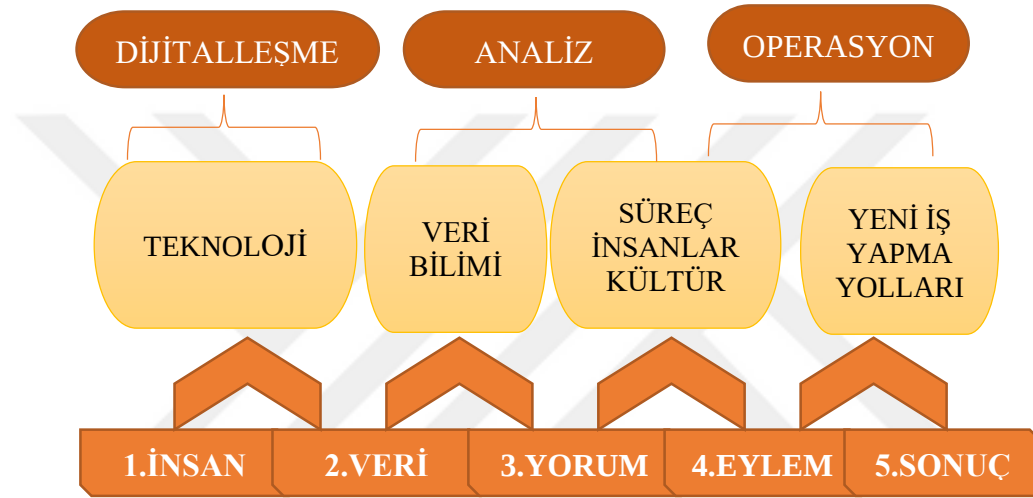
Dijital Çağ diğer adı ile Bilgi Çağı, 1980’lerde internetin yaygınlaşmasıyla başlamıştır. 2000’li yılların başından itibaren, sosyal medya ve mobil teknolojilerin etkisiyle dijitalleşme süreci hız kazanmıştır. Bilgi dijital ortamlara taşınmış ve bilgiye erişimin önündeki engeller, sınırlılıklar ortadan kalkmıştır. Erişimin kolaylaşması; zaman, maliyet ve iş gücü tasarrufu sağlamaktadır. Bu avantajlarının yanı sıra sınırlılıkların ortadan kalkması ile dijital ortamlarda bilgi katlanarak ilerlemektedir (Bozkurt vd., 2021, s.37). Dijital dönüşüm, bireylerin günlük yaşamını, işletmelerin operasyonlarını ve kamu hizmetlerini dönüştürmektedir. Dijital dönüşüm, yalnızca teknoloji kullanımından ibaret değildir; aynı zamanda organizasyonel yapıda değişim, iş yapma biçimlerinde dönüşüm ve müşteri deneyimi üzerinde önemli etkilere neden olmaktadır.

3.1. Dijital Dönüşümün Bileşenleri

Dijital dönüşümü sadece “teknoloji” satın alarak veya geliştirerek gerçekleştirmek mümkün değildir. Dijitalleşme sürecinde teknolojinin etkin kullanımı ne derece önemli ise hizmet ettiği kitle, kullanıcıları, doğurduğu sonuçların iyi okunması ve sürecin gereksinimler doğrultusunda ilerlemesi de o derece önemlidir. Sadece gerekli teknolojik ekipmana yapılan yatırım işletmeleri ve şirketleri dönüşümde başarılı kılmamaktadır. Aynı zamanda çalışanlara ve onların bu dönüşümdeki becerilerine de yatırım yapılmalı, alanında iyi “nitelikli” çalışanlar yetiştirilmelidir. Dönüşümün temel amacı eski teknolojileri yenileriyle değiştirmek ya da geliştirilen uygulamaları taklit etmek değildir. Temel amaç, kararların, eylemlerin ve süreçlerin insan yorumundan ziyade veriye dayandırılmasını sağlayarak veri odaklı bir işleyiş yürütmektir (Premuzic, 2021).

Dijital dönüşüm, birkaç temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin her biri, süreçlerin entegrasyonu ve iş stratejilerinin yeniden şekillendirilmesi açısından önemli rol oynamaktadır. Bileşenlerin başlıkları bazı kaynaklarda farklı kelimelerle ifade edilse de içerik bakımından hizmet ettikleri amaçlar aynıdır.

Premuzic (2021), dijital dönüşümün beş temel bileşenden oluştuğunu öne sürerek “*dijital dönüşümün beş temel bileşeni*” başlıklı bir şablon oluşturmuştur. Bu bileşenler; insan, veri, yorum, eylem ve sonuçtur.



Şekil 3. 1. Dijital dönüşümün beş temel bileşeni

Kaynak: Premuzic, T. C. (23 Kasım 2021). The essential components of digital transformation. <https://hbr.org/2021/11/the-essential-components-of-digital-transformation>

- **İnsan:** Dönüşüm insanla başlar. Bu gruba yöneticiler, çalışanlar, müşteriler ve tüketiciler dahildir. Başarılı bir işleymde etkin iletişim elzemdir. Müşteri ve tüketicilerin geri dönütleri, potansiyel kitleye ulaşım yolları, tercih ve isteklerin okunması bu dönüşümün “*insan*” bileşeninde incelenir. Müşteri odaklı bir yaklaşım benimsemek, dijital dönüşümün merkezinde yer alan ve başarısını doğrudan etkileyen en kritik unsurlardan biridir. Müşteri deneyimini geliştirmek için dijital kanalların etkin kullanımı, kişiselleştirilmiş iletişim ve hızlı geri dönüş süreçleri oluşturmak gereklidir (Tutkunca, 2020, s. 67). Müşteri geri bildirimleri, dijital dönüşüm süreçlerinin sürekli olarak iyileştirilmesine yönelik önemli bir veridir. Çalışanların ve yöneticilerin bu dönüşüme uyum sağlamaya yönelik eğitimleri de bu bileşene dahildir.

- **Veri:** Veri, modern işletmelerin en değerli varlıklarından biridir. Etkili veri yönetimi, veri toplama, analiz etme ve bu verilere dayalı stratejiler geliştirme sürecini kapsar. İşletmeler, veri analitiği sayesinde tüketici ve müşteri davranışlarını daha iyi analiz edebilir ve ihtiyaçlarına yönelik kişiselleştirilmiş hizmetler sunabilir. Aynı zamanda işletmenin kullandığı makinelerin, teçhizatların kullanımına ilişkin veri depolaması da işleri oldukça kolaylaştırmaktadır. Örneğin, sivil havacılık sektöründe faaliyet gösteren hava yolu şirketleri, filolarındaki uçakların bakım çizelgelerini ve yakıt tüketimi iyileştirmelerini, uçakların motor, flap gibi parçalarına ait depolanmış verilere göre planlamaktadır (Dursun, 2021, s. 7190-7191).
- **Yorum:** Veriler doğru yorumlanmadığı sürece sadece depolama alanı kaplamaktan ileriye gidememektedir. Toplanan verilerin; uzman kişilerce, doğru araçlarla bilime dayandırarak analiz edilmesi-yorumlanması gerekmektedir. Havacılıktan verdiğimiz örnekte uçak sistemlerinden toplanan veriler, uçak bakım-onarım teknisyenleri veya uçak mühendisleri tarafından yorumlanarak belli bir uçak bakım periyodu oluşturulmaktadır. Olağan periyodun oluşturulmasının yanı sıra bu verilerin düzenli olarak kaydedilmesi, olağandışı mekanik bir sorunla karşılaşıldığında meydana gelen problemin belirlenmesinde ve çözümünde hız, maliyet tasarrufu, (verilere dayalı hareket edildiği için) güven ortamı sağlamakta ve insan kaynaklı hata riski düşmektedir.
- **Eylem:** Yapılan analizlerin, yorumların eyleme dökülmesi gereklidir. Sadece verilerin analiz edilmesi sorunun tespitinde işe yaramaktadır fakat çözümde veya iyileştirmede eyleme geçmeden olumlu bir sonuç elde etmek mümkün değildir. Verdiğimiz örnekte toplanan verilerin, iyileştirmeler için uzmanlarca ve doğru araçlarla analiz edildiğini belirtmiştik. “Eylem” bileşeninde ise bu analizlerin gerçek hayatta uygulanabilirliği ve etkin yöntemlerle gelişmiş sonuçlara ulaşması amaçlanmaktadır.
- **Sonuç:** Dönüşümün son bileşeni, dijitalleşmeyle birlikte kullanılan teknolojilerin ilk dört bileşende etkili bir şekilde kullanımı sonucunda elde edilen çıkarımdır. Bu noktada geri dönütler değerlendirilir, iyileştirmeler gözden geçirilir ve herhangi bir eksiklik ya da olumsuzluk durumunda tekrar diğer bileşenlere dönmek gerekebilir. Başarılı bir şekilde sonuçlanan dönüşümde ise elde edilmiş bir çözüm vardır ve uygulanabilmektedir. Dönüşüm devam ettikçe geliştirilebilirliği açıktır ve diğer problemlerde yol gösterici olarak kullanılabilir (Premuzic, 2021).

3.2. Dijital Dönüşümün Avantajları

Teknolojinin iş süreçlerine entegrasyonu olarak özetlediğimiz dijital dönüşüm, işletmelerin rekabet avantajı elde etmesini, müşteri deneyim iyileştirmelerini ve çalışanlarının verimli ve mutlu çalışmalarını sağlamaktadır. Önceki başlıkta bu sürecin doğru işleyişi için takip edilmesi gereken adımlardan bahsedilmiştir. Her işletmenin kendi içerisinde bir dinamiği vardır. Mevcut dinamik işleyişe, müşterilere ve çalışanlara verimli bir alan oluşturuyorsa dinamiği bozmadan işletmeyi güncel tutmak, gelişmeleri takip etmek ve dijitalleşme yolunda ihtiyaca veya gelişime yönelik hamleler yapmak işletmeyi rekabet koşullarında öne çıkarmaktadır. Örneğin Covid-19 pandemisinde dijital dönüşüm yolunda ilerlemiş işletmeler piyasada çok büyük avantaj elde etmiştir. Gıda, giyim, bankacılık, ulaşım, eğitim gibi her sektörde dijital uygulamalara olan gereksinim kendisini göstermiştir. Sanal marketler, sanal alışveriş siteleri, geliştirilmiş dijital eğitim platformları büyük bir talep ile karşı karşıya kalmıştır. Pandemi sürecinde dijital dönüşümü benimseyen işletmelerin adaptasyon süreçleri tamamlanana kadar, sağlam altyapıya sahip olan işletmeler tercih edilmiştir. Pandemide dijitalleşmenin oluşturduğu avantajlarla tanışan işletmeler günümüzde yeni uygulamalar geliştirerek dönüşüme katkı sağlamaktadırlar (Türkyılmaz, 2024, s. 284). Dijital dönüşümün avantajlarını sıralayacak olursak:

- **Verimlilik Artışı:** Dijital teknolojilerin kullanımı, işletmelerin operasyonel verimliliğini artırır. Otomasyon ve yapay zekâ ile yürütülebilecek işler manuel yerine teknoloji ile yürütülür. Bu da çalışanların iş yükünü hafifleterek onların daha stratejik işlerde çalışmalarına olanak sağlar. Bir yandan çalışanların gelişimi desteklenirken diğer yandan da nitelik gerektirmeyen işlerde insan kaynaklı hata riski düşer (Şekkeli, 2022, s. 178). Örneğin, sivil havacılık sektöründe check-in kioskuları kullanılarak hem yolculara zaman ve hız tasarrufu sağlanmış hem de çalışanların iş yükünü hafifleterek manuel işlem yapan yolculara daha iyi hizmet etmelerine olanak sağlamıştır.
- **Müşteri Deneyimlerinin İyileştirilmesi:** Dijital dönüşüm, müşteri ilişkilerini güçlendirme ve deneyimi iyileştirme konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Veri analitiği sayesinde, işletmeler müşteri ihtiyaçlarını daha iyi anlayabilir ve buna göre hizmetlerini özelleştirebilir (Kumru & Kasımoğlu, 2022, s. 143). Örneğin, Türk Hava Yolları (THY) geliştirdiği dijital uygulamada yolcularına yaptıkları uçuşlara göre “mil” hediye etmektedir. Müşteriler, topladıkları miller sayesinde indirim, ayrıcalıklı uçuş hizmetleri ve bedava bilet gibi birçok avantajdan yararlanmaktadır.

- **Pazara Hızlı Erişim:** Dijital platformlar sayesinde, işletmeler yeni pazarlara hızlı ve düşük maliyetle girebilmektedir. Online satış kanalları ve dijital pazarlama stratejileri, markaların daha geniş bir kitleye ulaşmasına olanak tanır. Günümüzde bunun en yaygın örneği, “influencer marketing” olarak adlandırılan sosyal medya fenomenlerinin reklamları ve iş birlikleri sayesinde işletmelerin çok kısa sürede geniş kitlelere ulaşmasıdır. Örneğin, Türkiye’de yeni üretim yapmaya başlayan bir kozmetik firması, takipçisi milyonları bulan bir makyaj artisti ile iş birliği yaparak dijital platformlar aracılığı ile markasını ve ürünlerini pazara tanıtmaktadır. Küresel bir örnek verecek olursak; Temu, e-ticaret alanındaki dijital dönüşüm sayesinde dünya genelinde milyonlarca müşteriye hizmet vermekte ve hızlı bir şekilde büyümektedir.
- **Veriye Dayalı Karar Verme:** Bir işletmenin en önemli varlıklarından birinin veri olduğuna değinmiştik. Veri toplamak, analiz etmek, bu analizler doğrultusunda eyleme geçmek modern işletmelerin en etkili stratejilerini oluşturmaktadır. İşletmeler veriler sayesinde müşteri kitlesini iyi tanır, geliştirilmesi gereken açıkları fark eder ve doğru hamleler yaparak iyileştirmeleri gerçekleştirir. Örneğin, online alışveriş sitelerinde ve markaların kendi alışveriş uygulamalarında müşterinin baktığı ürün verileri baz alınarak kişiselleştirilmiş kampanyalar yapılır. Toplanan veriler aracılığı ile (müşteri hangi ürüne kaç kez baktı, baktığı ürün sayfasında kaç sn. veya dk. kaldı vs.) baktığı ürünlerin benzeri, daha uygun fiyatlısı veya daha kalitelisi müşterinin ana sayfasına düşer veya bildirim, e-posta, kısa mesaj aracılığı ile müşterinin alıcıları harekete geçirilir.
- **Rekabet Avantajı:** Dijitalleşme sürecini başarıyla yöneten işletmeler, teknolojiyi etkin kullanan rakipleri karşısında rekabet avantajı elde ederken; yüksek yenilikçilik kapasitesine sahip işletmeler, sektörel değişimlere hızla uyum sağlayarak öne çıkmaktadır (Kumru & Kasımoğlu, 2022, s. 155). Örneğin covid-19 pandemisinde önceden de dijital kanallar üzerinden ders veren eğitim kurumları, dijital altyapısı ve bu konuda yetiştirilmiş eğitimcileri sayesinde krizi fırsata çevirerek sektörde rekabet avantajı elde etmiştir.
- **İş Takip ve Hızlı Rapor Avantajı:** Dijital dönüşüm, iş takibini daha sistematik ve verimli hale getirmektedir. Proje yönetim yazılımları ve iş akışı otomasyon araçları, görevlerin ve projelerin ilerlemesini gerçek zamanlı olarak izleme olanağı sunmaktadır. İşlemler, dijital ortamda kolayca izlenebilir bu da, sorunların erken

tespiti ve çözümünü için kritik bir avantaj sağlar. Zaman alan ve hata riskine açık geleneksel raporlama yöntemlerinin aksine, dijital teknolojiler işletmelere verilerini anlık olarak izleme ve analiz etme olanağı sunmaktadır. Bu da yöneticilerin zamanında bilgiye ulaşmasını ve hızlı kararlar almasını sağlar. İş süreçlerini dijitalleştiren işletmeler, otomatik raporlama sistemleri kullanarak düzenli aralıklarla güncellenen raporlar oluşturabilmektedir (İpek, 2023, s. 152). Örneğin, birçok CRM sistemi, müşteri verilerini toplayarak otomatik olarak performans raporları oluşturur.

Açıklamasıyla beraber sayılan avantajların yanı sıra *iş süreçlerinde esnekliğin artması, elde edilen verilerin depolanması ve yedeklenmesi olanağıyla veri güvenliği sağlanması, hızlı bilgi alışverişi ve haberleşme imkânı tanınması* da dijital dönüşümün avantajları arasında sayılmaktadır (Akar, 2024).

3.3. Dijital Dönüşümün Dezavantajları

Dijital dönüşüm, işletmelerin ve toplumların dijital teknolojileri benimseyerek iş süreçlerini, iletişimini ve müşteri deneyimini geliştirmelerini amaçlayan bir süreçtir. Önceki başlıkta da açıklandığı üzere dijital dönüşümün; zaman tasarrufu, rekabet avantajı, işgücünün etkin kullanılması başta olmak üzere birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajların yanı sıra, dijitalleşmenin etkisiyle geliştirilen sistemler insan gücüne olan gereksinimi azaltmakta, bu durum ise işsizlik oranlarının artmasına neden olabilmektedir. Ayrıca siber güvenlik tehditleri ve büyük işletmelerin dijitalleşme sayesinde daha fazla ön plana çıkması, küçük işletmelerin rekabet gücünü kaybetmesine yol açan diğer önemli dezavantajlardandır (Petekçi, 2021, s. 12). Bu başlıkta dijital dönüşümün dezavantajlarını incelenecek ve örneklendirmeler ile açıklanacaktır:

- **İşgücü Kaybı:** Dijital dönüşüm, birçok sektörde otomasyon oranlarını artırmakta ve bu durum, iş gücü kaybı gibi olumsuz etkileri beraberinde getirmektedir. Özellikle üretim tesislerinde robot destekli süreçlerin yaygınlaşması, insan gücüne olan talebi azaltmaktadır. Üretim sektöründe, birçok fabrika otomasyon sistemlerine geçerek üretkenliklerini artırmakta, bu da geleneksel işgücünün azalmasına yol açmaktadır. İleriki süreç için işgücü konusu tartışma konusu haline gelmiştir. Bir taraf işsizliğin artacağını ön görürken, diğer taraf da yeni işgücü piyasalarını doğuracağını dolayısıyla işsizliğin azalacağını ön görmektedir (Gücenmez, 2023, s. 997). Bu durum biraz da nesiller ve nesillerin sürece uyumu ile ilgilidir. Dijital dünya ile kırk yaşından

sonra tanışan bir yetişkin uyum sürecini tamamlamaya çalışırken dijital dünyanın içerisinde büyümüş bir genç uygulamalar geliştirebilmektedir.

- **Güvenlik ve Veri Gizliliği Sorunları:** Dijitalleşmenin getirdiği en büyük sorunlardan biri de güvenlik açıkları ve veri gizliliğidir. Şirketler dijital dönüşümle birlikte büyük miktarda veri depolamaktadır; ancak bu verilerin korunmasına yönelik yeterli önlemler alınmadığında ciddi güvenlik sorunları ortaya çıkmaktadır. Örneğin Aralık 2024'te Türkiye'deki araç sahiplerinin kullandığı Hızlı Geçiş Sistemi (HGS) hacklenerek kullanıcı sahiplerine bir coin hesabına para göndermeleri için tehditkâr cümleler ile bildirimler göndermişti (NTV, 2024a). Bu güvenlik açığı uygulama kullanıcılarını endişelendirmiş ve sisteme duyulan güveni sarsmıştır. Bunun yanı sıra dijitalleşmenin etkisi ile çoğu birey günlük hayattaki işlerini mobil uygulamalar üzerinden yürütmektedirler. Kullanılan uygulamaların hepsinde kişisel bilgiler istenmektedir. Veri gizliliği ilkesinin yok sayılması veya siber güvenlik açığı oluşması halinde ciddi tehditler ile karşı karşıya kalınabilmektedir. Bu dijital uygulamalar bir yandan hız, zaman ve maliyet tasarrufu sağlarken öbür yandan da kişisel gizliliğin ihlali riski taşımaktadırlar (Kocakaya, 2023).
- **Dijital Eşitsizlik:** Dijital dönüşüm, toplumda dijital okur-yazarlık farklarını derinleştirebilir. Daha düşük gelirli bireyler veya kırsal alanlarda yaşayan insanlar, dijital araçlara ve kaynaklara erişimde zorluklar yaşayabilmektedir. Gelir farkı, sağlık ve eğitime erişim temel eşitsizlik konularıdır. Dijitalleşmenin takibi ve yeni teknolojilere erişim, bu eşitsizliklerin bir sonucu olarak ortaya çıkarken; aynı zamanda kaynak eksikliği nedeniyle teknolojiye erişimin kısıtlanması, sağlık ve eğitime erişimde de eşitsizlikleri derinleştirmektedir (Kayış, 2021, s. 113-115). Örneğin Covid-19 pandemisinde eğitime dijital platformlardan devam edilmişti. Bu platformlara erişebilecek teknolojik alete erişimi olmayan veya internet altyapısına sahip olmayan bölgelerde yaşayan öğrenciler bu eşitsizliği derinden hissetmiş ve eğitimden geri kalma riski ile karşı karşıya kalmıştır. Dijital eşitsizlik sadece kaynak eksikliği sonucu ortaya çıkmaz aynı zamanda teknolojik kaynak eksikliği yaşanmasa bile dijital okur-yazarlığın bilinmemesi de bu eşitsizliği doğurur (Kayış, 2021, s. 119). Örneğin, geleneksel yöntemlerle tarlasını ilaçlayan bir çiftçi, gerekli maliyeti karşılayarak ilaçlama amacıyla bir insansız hava aracı (İHA) satın alabilir. Ancak, İHA'yı kullanabilmek için gerekli yetkinliği kazanmadan ve Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)'nün web sitesi üzerinden uçuş izni almadan bu aracı kullanarak ilaçlama yapması mümkün değildir.

- **Yüksek Maliyet:** Dijital dönüşüm, başlangıçta yüksek maliyetler gerektirebilir. Yeni teknolojilerin benimsenmesi, altyapı değişiklikleri, eğitim ve yazılım giderleri işletmelere ek bir yük getirmektedir. Örneğin geleneksel bir mağazanın online satış platformuna geçişi, yalnızca yazılım ve donanım yatırımı değil, aynı zamanda çalışanların bu yeni sistem ile ilgili eğitim masraflarını da içermektedir. Bu süreç, küçük işletmeler için büyük bir finansal yük haline gelebilir.
- **Dijital Kültür ve Toplumsal Uyum Zorlukları:** Dijitalleşmenin en büyük etkilerinden biri de yeni bir kültür oluşturmasıdır: Dijital kültür, gelişen teknoloji ile değişen yaşayış biçimlerimizi, alışkanlıklarımızı özetlemektedir. Dijitalleşmenin etkisi ile iş yapış biçimlerinin değişimi yanında sosyalleşmeler, ilişkiler, iletişimler de sanal kodlamalar üzerinden gerçekleşmeye başlamıştır. 2000'lerin başına kadar sokaklarda, bahçelerde toplanarak ip atlayan, top oynayan çocukların yerini bugün mobil oyunlar oynayan, bilinçsizce videolar izleyen çocuklar almıştır (Yayla, 2015, s. 48-50). İşletmeler açısından bakıldığında ise dijital dönüşümün, işletmelerde yeni çalışma biçimlerinin benimsenmesi gerektirdiği görülmektedir. Ancak, bu değişiklikler bazı çalışanlar için zorluklar meydana getirmekte, uyum süreci stres ve huzursuzluk gibi duygusal sorunlara neden olabilmektedir. Örneğin; Şirket içi iletişimde kullanılan yeni dijital araçlar, bazı çalışanların alıştıkları geleneksel iletişim yöntemlerinden uzaklaşmalarını gerektirir. Bu da, çalışanlar arasında iletişim kopukluklarına sebep olabilir ve ekip çalışmasını olumsuz etkileyebilir.

Dijital dönüşüm etkisini artırarak devam etmektedir. Sayılan dezavantajlar; stratejik yöntemler, gelişmiş uygulamalar ve kaliteli eğitim ile yönetilebilmektedir. Sadece avantajlar göz önünde bulundurularak dönüşüme bilinçsizce teslim olmak ya da sadece dezavantajların ön plana çıkartılarak dönüşümü reddetmek başarısızlıkla sonuçlanabilmektedir (Yayla, 2015, s. 47).

3.4. Türkiye’de Dijital Dönüşüm

Dijital dönüşüm, sadece teknolojik dönüşümü kapsamamaktadır. Aynı zamanda iş modellerinin yeniden yapılandırılmasını, organizasyonel kültürlerin evrimini ve toplumda genel bir dönüşümü kapsamaktadır. Dijital dönüşüm ile küreselleşmenin de ivme kazandığı günümüzde, dijital dönüşüm, ülkelerin rekabet güçlerini artırabilmeleri açısından kritik bir önem taşımaktadır (Ocak & Gök, 2022, s. 23-24). Türkiye, özellikle son yıllarda dijital dönüşümün dünyadaki hızını yakalamış, geliştirdiği ve geliştirilmeye

devam ettiği yerli projeleri sayesinde önemli stratejik avantajlar elde etmiştir. 2018 yılında kurulan T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, farklı kurumlarda kurulan dijital dönüşüm ofislerini tek çatı altında toplamış; güvenli, şeffaf ve sürdürülebilir işleyişin temelini kurmuştur (T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2023). Dijital dönüşüm ofisi, dönüşümün güvenli, verimli ve bilinçli bir şekilde ilerletilmesi için yol haritası niteliği de taşımaktadır. Bu ofis, sektörel tabanda dijital dönüşüm stratejileri oluşturmakta ve dijital altyapının güçlendirilmesi yönünde çalışmalar yapmaktadır. Ayrıca, 2023 Dijital Türkiye Projesi gibi girişimlerle, sağlık, eğitim, kamu yönetimi ve finans gibi alanlarda dijital hizmetlerin yaygınlaşması teşvik edilmektedir.

Türkiye'nin dijital dönüşümde başarılı bir süreç yönetmesini sağlayan en stratejik proje E-Devlet Kapısı projesidir. 2008 yılında erişime açılan e-devlet platformu, vatandaşların dijital ortamlardan güvenli, kesintisiz ve hızlı bir şekilde işlemlerini gerçekleştirmelerine olanak sağlamaktadır. E-Devlet Kapısı, kamu kurumlarının sunduğu hizmetleri tek çatı altında toplayarak adalet, sosyal güvenlik, eğitim, sağlık, ulaştırma, belediye hizmetleri vb. hizmetlere direkt erişim imkânı sunmaktadır. Geliştirilen uygulama ve internet sitesi sürekli güncellenmekte, güvenlik kalitesi artırılmaktadır. Bu uygulama, taklit edilemez özelliği barındırdığı ve sürekli denetlemeye tabi tutulduğu için vatandaşları olası dolandırılma ve veri hırsızlığından korumaktadır. 1993 yılında “*Türkiye Bilişim ve Ekonomik Modernizasyon Projesi*” ile temelini atıldığı e-Devlet Kapısı, 2024 yılında Avrupa Komisyonu E-Devlet Kıyaslama Raporunda çoğu ülkeyi geride bırakarak ilk ona girmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2025). Ülkelerin dijitalleşme sürecinde edindikleri rol, sadece vatandaşlarının iş ve işlemlerini rahat ve güvenilir ortamlarda yapmalarına olanak sağlamaktan ziyade ülkeler arası rekabette de önemli bir avantaj unsuru oluşturmaktadır.

Dijital dönüşüm, yaşam kalitesini artırmaktadır fakat bunun yanında kullanımı yaygınlaştıkça ortaya bir siber güvenlik sorunu da çıkartmaktadır. Özellikle bahsi geçen devlet uygulamalarının dijital ortamlardan kullanıcıların erişimine açılması, olası bir siber güvenlik açığı yaşanması durumunda hem devlet hem de vatandaşlar büyük risk altına girmektedir. Türkiye, bu durumun farkındadır ve dönüşümü bilinçli ve güvenilir bir şekilde yönetmek adına siber güvenlik konusunda önemli ve etkin adımlar atmıştır. 2013 yılında geliştirilen “*Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi*” Türkiye'nin siber güvenliğini artırmayı ve dijital altyapıyı güçlendirmeyi amaçlamaktadır. 2013 yılından itibaren üç veya dört yıl kapsam alanına alınarak geliştirilen stratejik eylem planları T.C. Ulaştırma

ve Altyapı Bakanlığı tarafından uygulanmaya devam etmektedir. Örneğin şu an “2024-2028 Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ve Eylem Planı” uygulanmaktadır (Kılıç B. , 2024).

Devlet eli ile geliştirilen ve uygulanan projelerin yanı sıra vatandaşların proje geliştirmelerine, dijital okur-yazarlık oranının yükseltilmesine yönelik çalışmalar da mevcuttur. T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi bünyesinde Kamu Veri Alanı, Kamuda Yapay Zekâ Dönüşümü Projesi, Dijital Genç Yapay Zekâ Ekosistemi, HackIstanbul Bayrak Yarışı gibi birçok proje yer almaktadır (Uysal vd., 2023, s.223).



4. ENDÜSTRİYEL DEVRİMLER

Endüstriyel devrimler, insanlık tarihinde ekonomik, sosyal ve teknolojik yapıların köklü bir şekilde dönüşümünü teşkil eden önemli dönemlerdir. Bu devrimlerin her biri, üretim süreçlerinden günlük yaşamın tüm alanlarına kadar geniş bir etki alanı oluşturmuş, insanın iş yapma biçimlerini, toplumsal ilişkilerini ve ekonomik dinamiklerini yeniden şekillendirmiştir. İlk endüstriyel devrim, buhar gücünün kullanımıyla başlamış ve makineleşme sürecini hızlandırarak sanayileşmenin temel taşlarını oluşturmuştur. İkinci endüstriyel devrim, elektrik ve otomasyon sistemlerinin entegrasyonu ile daha kapsamlı bir üretim modelini mümkün kılarken; üçüncü endüstriyel devrim, bilişim teknolojileri ve dijitalleşme sayesinde veri tabanlı üretim ve iletişimi gündeme getirmiştir (Yıldırım, 2019, s. 221).

Son yıllarda, endüstriyel üretim ve yönetim süreçlerinde köklü değişikliklere yol açan bir kavram olarak Endüstri 4.0, üretim sektörü için yeni bir yaklaşım oluşturmuştur. Endüstri 4.0, dijitalleşme, otomasyon ve veri analitiği gibi teknolojik inovasyonların entegrasyonunu ifade ederken, bu süreçler aynı zamanda “*dijital dönüşüm*” olarak adlandırılan geniş bir değişim dalgasıyla da yakından ilişkilidir. Her bir endüstriyel devrim kendinden önce gerçekleştirilen devrimlerin gelişmiş hali, kendinden sonraki devrimlerin ise geliştiricisidir (Yıldırım, 2019, s. 220). Bu nedenle endüstri 4.0’ı anlamak onun geliştiricisi niteliğinde sayılan ilk üç devrimi anlamaktan geçmektedir.

4.1. Endüstri 1.0: Birinci Sanayi Devrimi

18. yüzyılın sonlarından 19. yüzyıla kadar geçen bir süreci içeren Endüstri 1.0, insanlığın ekonomik ve sosyal gelişiminde devrim niteliğinde değişimlere yol açmıştır. Bu aşama, tarım toplumundan sanayi toplumuna geçişin temelini oluştururken, mekanizasyon ve buhar gücü gibi yenilikçi gelişmelerle karakterize edilmiştir. Elle yapılan üretimlerden makineli üretime geçişin ilk aşaması olan bu devrimin temel özelliği insan gücü yerine buhar gücünü etkin kullanarak geliştirilen mekanik sistemlerdir (Kılıç R., 2023, s.279-280).

Endüstri 1.0’ın en belirgin özelliği, el işçiliğinden makine kullanımına geçiştir. Bu dönüşüm, daha büyük ölçekli üretim imkânı sunmuş ve üretim süreçlerini hızlandırmıştır. Örneğin, tekstil endüstrisinde kullanılan iplik eğirme ve dokuma

makineleri, üretim birimlerinin verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır. Bu da endüstri 1.0'ın ana bileşeni olan mekanizasyonun bir sonucu olarak değerlendirilmektedir (Kılıç R., 2023, s.279-280). Bu dönemde, buhar gücünün kullanımı yaygınlaşmış ve sanayi üretiminde devrim meydana getirmiştir. Buhar makineleri, fabrikalarda enerji kaynakları olarak kullanılarak, üretim süreçlerinin merkezi hale gelmesini sağlamıştır. Böylece; tekstilde, tarımda, madencilikte ve ulaşım sistemlerinde (demiryolları, buharlı gemiler) önemli gelişmeler yaşanmıştır (Özden, 2022, s. 36).

Endüstri 1.0 ile üretim sürecinin fabrikalarda merkezi hale gelmesi sağlanmıştır. İş gücünün toplandığı bu fabrikalar, daha organize bir iş yapısını ve fiziksel çalışma koşullarını beraberinde getirmiştir. Üretim tesislerinin fabrikalaşması ile kırsaldan kente göç artmıştır. İşçi sınıfının oluşumu ve yeni sosyal dinamiklerin ortaya çıkışı gibi süreçler, Endüstri 1.0'ın doğrudan sonuçları arasında yer almaktadır (Koca, 2020, s. 4535-4536).

Mekanizasyon ve buhar gücünün kullanımı ile başlayan bu süreç, sanayi devriminin ilk aşamasını temsil etmiş ve modern ekonomik yapının temellerini atmıştır. Gelecek sanayi devrimlerine zemin hazırlayan bu dönemdeki yenilikler, günümüz teknolojik gelişmelerinin anlaşılmasında da kritik bir rol oynamaktadır. Buhar gücünün üretimdeki etkisinin anlaşılmasıyla buhar motorları geliştirilmiş ve Endüstri 2.0 dönemi başlamıştır (Sağtaş, 2021, s. 53).

4.2. Endüstri 2.0: Kitlesele Üretim

19. yüzyılın başlarında elektriğin üretilebileceği bilinci ile başlayan 2.sanayi devrimi, ekonomide seri üretim, elektrik enerjisinin kullanılması, telefon ve telgrafın hayatımıza dâhil edilmesi gibi birçok gelişimin miladıdır. Tek tip seri ve kitlesele üretim ön plana çıkmış ve hatta literatürdeki bazı kaynaklarda devrimin bir diğere adı “*kitlesele üretim*” olarak kullanılmıştır. Kitlesele üretim anlayışını en iyi yansıtan örneklerden biri ise Ford marka araç üreticisi Henry Ford'un 1926'da söylemiş olduğu “*Her müşteri siyah olduğu sürece istediği renkte arabaya sahip olabilir*” sözleridir. Yapılan araştırmalar incelendiğinde kitlesele üretimi Henry Ford'un başlattığı ve bu sebeple “*fordizm kitle üretim tarzı*” kavramının doğduğu anlaşılmaktadır (Yertüm, 2017, s. 69-70).

Endüstri 2.0'ın en önemli buluşlarından biri, montaj hattı sisteminin geliştirilmesidir. Henry Ford'un otomobil üretiminde kullandığı montaj hattı yöntemi, ürünlerin daha hızlı ve daha düşük maliyetle üretilmesini sağlamıştır. Bu sistem, üretim

süreçlerini standartlaştırarak daha önceki dönemlere göre verimliliği önemli ölçüde artırmıştır (Özden, 2022, s. 36-37). Endüstri 1.0 ile kullanılmaya başlanan buhar gücü yerine elektrik enerjisinin kullanılması, üretim süreçlerini değiştirmiştir. Elektrik, makinelerin yanı sıra aydınlatma, iletişim ve diğer sanayi işlemlerinde de yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu durum, fabrikaların çalışma düzenlerini ve işçi verimliliğini de olumlu yönde etkilemiştir. Endüstri 2.0, makinelerin ve makineler arası iletişimin otomasyonunu içerir. Bu dönemde, makinelerin insan gücüne bağımlılığının azalması, üretimdeki hataları azaltmış ve üretim hızını artırmıştır. Otomasyon sayesinde, üretim süreçleri daha güvenilir hale gelmiştir (Kılıç R., 2023, s.280-282).

Seri üretim teknikleri, ürünlerin fiyatlarını düşürmüş ve tüketici pazarını genişletmiştir. Bu dönemdeki sanayi devrimi, işgücünde nitelikli işçilerin önemini artırmış; işçi sendikaları ile işçi haklarına yönelik talepleri güçlendirmiştir. Aynı zamanda ekonomik büyümeyi hızlandırmış ve birçok ülkede orta sınıfın oluşmasına katkı sağlamıştır (Yertüm, 2017, s. 79).

Geliştirmiş olduğu bant sistemi ile seri kitlesele üretimini başarıyla devam ettiren Henry Ford'un standartlaştırılmış ürünlerinin tüketici taleplerini karşılayamaması, işçilerin sendikalaşarak eleştirdikleri sistem karşısında eyleme geçmesi fordizm kitle üretim sisteminin sonunu getirmiştir ve 1969 yılında geliştirilen ARPANET Endüstri 3.0 devriminin tetikleyicisi olmuştur (Sağtaş, 2021, s. 54).

4.3. Endüstri 3.0: Bilgisayar Devrimi

Endüstri 3.0, 1969 yılında Programlanabilir Kontrol Cihazı (Programmable Logic Controller- PLC) ile ortaya çıkan ve sanayinin bilgi teknolojileri ile entegrasyonunu ifade eden bir dönemdir. Bu aşama, elektronik ve bilgi teknolojilerinin üretim süreçlerine entegre edilmesiyle nitelik kazanır. Endüstri 3.0, otomasyonun artışı, bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemlerinin geliştirilmesi ile üretim süreçlerinin daha verimli ve esnek hale gelmesini sağlamıştır (Kılıç R. , 2023, s. 282).

Endüstri 3.0'ın en belirgin özelliklerinden biri, otomasyon sistemlerinin yaygın kullanımına geçişidir. Bu süreçte, mekanik otomasyon sistemlerinin yanı sıra, elektronik ve bilgisayar tabanlı otomasyon çözümleri devreye girmiştir. Robot teknolojileri, üretim hatlarında işgücünü azaltırken, verimliliği artırmaya yönelik önemli katkılarda bulunmuştur. Bilgisayarların ve yazılımların üretim aşamalarında kullanılması, işletmelerin veri toplama, analiz etme ve süreçleri optimize etme kabiliyetlerini

artırmıştır. Bu bağlamda, Bilgi Yönetim Sistemleri ve Üretim Yönetim Sistemleri gibi uygulamalar, işletmelere stratejik karar alma süreçlerini desteklemiştir (Davutoğlu, 2020, s. 179-180). Endüstri 3.0, tedarik zincirinin yeniden yapılandırılmasında da etkili olmuştur. Bilgi teknolojilerinin artan kullanımı, tedarik zinciri yönetiminde daha fazla görünürlük ve kontrol sağlamıştır. Şirketler, küresel pazarlarda rekabet edebilmek için tedarik zincirlerini daha esnek ve uyumlu hale getirmeye başlamışlardır. Günümüz sanayisi, bu dönemde kazanılan deneyim ve teknolojik birikim sayesinde daha da ileriye gitmekte ve Endüstri 4.0'a doğru evirilmektedir. Endüstri 3.0, sadece ekonomik büyüme açısından değil, aynı zamanda sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli sonuçlar doğurmuştur. Özellikle çevre dostu üretim süreçlerinin geliştirilmesi, bu dönemdeki kazanımlardan biridir (Sağtaş, 2021, s. 54-55).

4.4. Endüstri 4.0

Endüstri 4.0, üretim alanında dijitalleşmenin ve otomasyonun artmasıyla tanımlanan bir dönemdir. 2011 yılında Almanya Hannover Ticaret Fuarı'nda bir terim olarak ortaya çıkan Endüstri 4.0, günümüzde küresel ölçekte birçok sektörde etkili bir şekilde uygulanmaktadır (Kabakçı, 2023, s. 14). Bu bağlamda, dijital dönüşüm, şirketlerin iş yapış şekillerini, örgüt yapılarını ve müşteri ilişkilerini köklü bir şekilde değiştirmektedir.

Endüstri 4.0'ın temel gayesi vasıf gerektirmeyen işlerin otomasyonlar tarafından yapılması, vasıf gerektiren işlerde ise insan kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasıdır. Tam zamanında üretim felsefesiyle; müşteri ihtiyaçlarını eksiksiz karşılamaya, müşteri memnuniyetini sağlamaya ve stok yapmadan üretimi gerçekleştirmeye odaklıdır (Kabakçı, 2023, s. 14).

Yapay zekâ, IoT, büyük veri, otonom robotlar, siber fiziksel sistemler (CPS), bulut bilişim teknolojisi, akıllı fabrikalar, simülasyonlar ve 3D yazıcılar Endüstri 4.0'ın bileşenleridir (Davutoğlu vd., 2017, s.551). Endüstriyel devrimler genellikle işletmeler ve sektörler düzeyinde ele alınsa da, bu devrimlerin ortaya çıkardığı sistemler günlük yaşamda bireyler tarafından kimi zaman bilinçli, kimi zaman ise farkında olunmadan kullanılmaktadır. Örneğin bulut teknolojisi sayesinde arşivler yedeklenmekte, geliştirilen simülasyonlarda oyun oynanmakta, otonom robot teknolojisi sayesinde geliştirilen robot süpürgeler yardımıyla temizlik yapılmaktadır. Endüstri 4.0; dijital dönüşüm, dijitalleşen endüstri gibi farklı başlıklarla da ifade edilebilmektedir (Fırat & Fırat, 2017, s. 211).

Çalışmanın kapsamının genişliği ve söz konusu konuların çalışmanın konusu ile yakından ilintili olması sebebi ile endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm ayrı birer konu başlığı olarak ele alınmıştır.

4.4.1. Yapay zekâ

Yapay zekâ, bilgisayar sistemlerinin tıpkı bir insan gibi düşünme, öğrenme, analiz etme ve karar verme yetenekleriyle donatılmasını amaçlayan bir alandır. Yapay zekânın kökenleri, 1950'li yıllara kadar uzanmaktadır. Ünlü Matematikçi Alan Turing'in geliştirdiği Turing Testi, bir makinenin insan gibi düşünüp düşünmediğini belirlemek için gösterilen ilk çabalardan biridir. Henüz bilgisayarın bile tasarlanmadığı bu dönemde, sistematik bir aletin insan gibi düşünebileceği, karar verebileceği ve problem çözebileceği ve hatta insanlardan daha yetenekli işler ortaya çıkaracağı öngörülmüştür (Bayuk & Demir, 2019, s.786). Turing'in geliştirdiği Turing Testi bir oyun üzerinden anlatılmaktadır. Bu oyunda üç kişi bulunmaktadır: Bir kadın (A kişisi), bir erkek (B kişisi) ve bir sorgucu. Oyunun amacı sorgucunun yazışma yolu ile A ve B kişisine sorular yönelterek cinsiyetlerini tahmin etmesidir. Turing bu noktada A veya B kişisinin yerine bir makine koyulduğu zaman verilen cevaplar doğrultusunda "*Sorgucu kimin insan kimin makine olduğunu ayırt edebilir mi*" düşüncesinden yola çıkarak "*Makineler düşünebilir mi?*" sorusunu yöneltmiştir. Sonucunda geliştirilen testte sorgucu karşısındaki makinenin makine olduğunu anlamazsa makine Turing testinden geçmiş sayılmaktadır (Koyuncu, 2015, s. 27). Turing Testinin temel amacı, bir yapay zekânın düşünme, sezgi ve anlayış yeteneğini değerlendirmektir. Test, bir makinenin doğal dilde insanlarla iletişim kurabilme kapasitesini ölçerken, aynı zamanda insan zekâsının tanımını sorgulamakta ve yapay zekâ kavramını derinlemesine incelemektedir. Turing, testin yapay zekânın "*zekâ*" olarak kabul edilip edilmeyeceğini değerlendirmede yararlı bir araç olabileceğini savunmuştur.

Yapay zekâ, birçok farklı tanımlamalarla açıklanmaktadır. Bu sebeple kabul edilmiş tam bir tanımı yoktur. Temel amacı "*insan zekâsının makineler tarafından taklit edilerek, düşünme, öğrenme ve karar verme mekanizmalarının sistemsal olarak işleyişini gerçekleştirmektir*" ve amacın bu olduğu herkesçe kabul görmektedir (Kaya, 2021, s. 73). Yapay zekâ, sağlıktan eğitime, finanstan ve pazarlamadan ulaşım ve lojistiğe kadar birçok sektörde etkilerini gün geçtikçe derinleştirmektedir.

4.4.1.1.Yapay zekânın kullanıldığı başlıca alanlar

Günümüzde yapay zekânın kullanıldığı birçok alan mevcuttur. Öne çıkan alan ve uygulamalar aşağıda sıralanmıştır:

- Kanser tanı ve tedavisinde Uluslararası İş Makineleri (International Business Machines-IBM) Watson platformu, büyük veri analizi kullanarak kanser teşhisi konulan hastalar için özelleştirilmiş tedavi önerileri geliştirebilmektedir (Özdoğan, 2024).
- Finans sektöründe bankalar geliştirdikleri uygulamalarda yapay zekâ yardımı ile olağandışı şüpheli durumları tespit ederek anında müdahale edebilmektedir.
- Geliştirilen otonom araçlar sayesinde sürücünün sağlık sorunu yaşadığı, dikkatinin dağıldığı durumlarda araçlar yapay zekâ ile geliştirilen şerit takip, araç tanıma ve mesafe ayarlama özellikleri ile sürücünden bağımsız sürüş kararları alabilmektedir.
- Mağazalarda kullanılan akıllı raflar sayesinde stok kontrolü kolaylıkla yapılabilen ve veriler IoT ve yapay zekâ tarafından işlenip analiz edilebilmektedir (Zorlu vd., 2018, s.351).

Birkaç örnek bile, yapay zekânın günümüz dünyasında geniş kullanım alanlarına ulaştığını ve gelecekte hayatımızda daha da önemli bir yer edineceğini göstermektedir. Yapay zekâ, havacılık sektöründe uçuş güvenliğinden bakım süreçlerine, yolcu deneyiminden hava trafik yönetimine kadar pek çok alanda radikal değişimler gerçekleştirerek süreçleri daha etkin ve güvenilir hale getirmektedir. Sektördeki kullanım alanları ve etkileri daha kapsayıcı bir şekilde açıklanmak amacıyla ayrı bir başlıkta ele alınacaktır.

4.4.1.2.Yapay zekâ türleri

(Hintze, 2016), nasıl öğrendiklerine ve akıl yürüttüklerine bağlı dört türe ayırmıştır:

- **Reaktif Makineler:** Geçmiş deneyimlere ve anılara bağlı kalmadan, etki-tepki yasası gereğince anlık kararlar veren ve mevcut girdilere göre harekete geçen yapay zekâ türüdür. En yaygın reaktif makine örneği, dünyanın en iyi satranç oyuncusu Gary Kasparov'u yenen “*DeepBlue*” isimli satranç programıdır (Kuruca vd., 2022 s.95).
- **Sınırlı Bellek:** Belirli bir zaman için geçmiş verileri anımsayarak, buna bağlı karar veren ve harekete geçen yapay zekâ türüdür. Bilgi toplarken veya karar verirken

deneyimleri depolama ve saklama yeteneğine sahiptir ve depoladığı veriler ışığında karar vermektedir (Avaner & Çelik, 2021, s. 4). Örneğin yeni nesil otomobillerde şerit takip sistemi bulunmaktadır. Bu sistem aracı otonom olarak şerit içerisinde tutarken aynı zamanda sürücünün sağlığından ve uyanıklığından emin olmak için belirli süre aralıkları ile uyarıcı göndermekte ve sürücünden direksiyona dokunmasını istemektedir. Bu sayede sürüş güvenliği artırılmakta, olası kazaların önüne geçilmekte ve sürücünün dikkatinin dağılması durumunda zamanında müdahale imkânı sağlanmaktadır. Böylece hem sürücünün hem de yolcuların güvenliği üst düzeye çıkarılmaktadır

- **Zihin Teorisi:** Bu tür şu an sadece teoriden ibarettir. Yapay zekanın, canlıların beklenti, duygu ve düşüncelerini anlaması, empati kurabilmesi ve sosyal etkileşim içerisine girebilmesini içermektedir (Hintze, 2016).
- **Öz Farkındalık:** Uygulamada henüz var olmayan en gelişmiş yapay zekâ türüdür. Zihin teorisinin bir uzantısı olarak da kabul görmektedir. Kendi bilinç, duygu ve motivasyonun farkında ve başkalarının niyetlerini okuyabilen türdür. Zihin teorisi olmadan bunu hayata geçirmek imkânsızdır (Avaner & Çelik, 2021, s. 4).

4.4.2. Nesnelerin interneti

IoT en basit tanımı ile sıradan nesnelerin internete bağlanarak veri alışverişi yapabilmelerini sağlayan bir teknolojidir. Nesneler veri toplar, toplanan verileri işler, paylaşır ve birbirleri ile etkileşime girerler. IoT terimi, 1999 yılında “*Teknoloji Öncüsü*” sıfatı ile anılan yazar Kevin Ashton tarafından ilk kez ortaya atılmıştır. Ashton, bu kavramı “*nesnelerin, internete bağlanarak bilgi paylaşabilen ve iletişim kurabilen bir sistemler ağı*” olarak tanımlamıştır. Bu tanım, IoT'nin temelini oluşturan birkaç önemli unsuru vurgular: Nesnelerin bağlı olması, veri alışverişi yapabilmesi ve bu verilerin analiz edilerek anlamlı bilgilere dönüştürülebilmesi (Kablan, 2018, s. 1564).

IoT'nin uygulama alanlarının gün geçtikçe genişlediği gözlemlenmekle birlikte günümüzde en yaygın kullanım alanı “*Akıllı Evler*” olarak bilinmektedir. Akıllı ev sistemleri; akıllı termostatlar, güvenlik kameraları ve aydınlatma sistemleri, kullanıcıların evlerini uzaktan kontrol etmelerine olanak tanır. Söz konusu sistemler uzaktan kontrolün yanı sıra kullanıcının enerji tasarrufu yapmasına da olanak sağlamaktadır. Evdeki kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda enerji harcayan ve özelleştirilebilen çevreci bir sistem olarak bilinmektedir. Gelişmiş sektörlerle çevre analizi yapan ve sürüşü güvenli

kılan otonom araçlar ulaşım sektöründe, hastanın vücut analizlerini kaydeden ve ileten giyilebilir teknolojik cihazlar ise sağlık hizmetlerinde IoT'nin olumlu etkilerini göstermektedir (Çakır vd., 2022,s.186-187).

Kullanıcılara sunduğu fırsatların yanı sıra nesnelerin veri analiz ve paylaşımına sürekli açık hale gelmesi veri güvenliği açığını artırdığı gözlenmektedir. 2024 yılının Ekim ayında bir firma tarafından üretilen robot süpürgeler, sistemlerinin hacklenmesi sonucunda kullanıcılarının kontrolünden çıkmış ve evin içerisinde sistemi hackleyenler tarafından verilen talimatlar doğrultusunda argo konuşarak süpürme işlemini gerçekleştirmişti (NTV, 2024b). Bu örneklerin çoğalmaması için mevcut risklerin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu bağlamda çalışmaların devam ettiği ve gelecekte güvenlik ve gizlilik konularında atılacak adımlarla, teknolojinin faydalarının önünü açacağı ön görülmektedir.

4.4.3. Robotik ve otomasyon

Robotlar belirli görevleri yerine getirmek için programlanmış mekanik sistemlerdir. Otomasyon ise bu sistemlerin bazı süreçlerini insan müdahalesini azaltarak ya da yok ederek otomatik hale getirme yöntemidir. Günümüzde robotik ve otomasyon endüstriyel ve günlük yaşamda önemli bir yer edinmiştir. Robotik ve otomasyon sistemlerinde temel amaç insan müdahalesi olmaksızın işlemleri gerçekleştirebilen cihazlar ve sistemlerin geliştirilmesi ile ilgilidir (Özdem & Bora, 2022, s. 5). Giderek artan işgücü maliyetleri ve verimlilik beklentileri, robotik ve otomasyon teknolojilerine yönelimi hızlandırmaktadır. Robot gelişiminin hızla devam etmesi, iş yapış şekillerinin bu sistemlerin entegrasyonu ile değişmesi “*insanların yerini robotlar mı alacak?*”, “*işsizlik artacak mı?*” gibi pek çok soruyu da beraberinde getirmektedir. Bu konuda farklı görüşlerin olmasıyla beraber Alman otomotiv sektöründe incelenen istatistikler robotik ve otomasyon sistemlerinin istihdamı artırdığına yönelik sonuçlar ortaya koymuştur. Robotik sistemler sayesinde üretim maliyetlerinin azalması ürünün pazara daha uygun fiyata sunulmasını sağlamaktadır. Ürünün pazara daha uygun fiyata sürülmesi ise talep artışına dolayısı ile iş yükünün artması ve yeni istihdam alanları açılması ile sonuçlanmaktadır (Fırat & Fırat, 2017, s. 221).

Endüstriyel yaşamda robotların konumu incelendiğinde “*insan-robot iş birliği*” örnekleri ortaya çıkmaktadır. Yapay zekânın ve otomasyon sistemlerinin katkısı ile yeni nesil robotlar ses-tepki, algılama-kavrama ve komutlara cevap verme gibi birçok özelliği

başarı ile yerine getirebilmektedir (Fırat & Fırat, 2017, s. 221). Bu gelişmeler endüstri 4,0'ın temel gayesi olan “*vasıf gerektirmeyen işlerin otomasyonlar tarafından yapılması, vasıf gerektiren işlerde ise insan kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılması*” amacına hizmet etmektedir.

Robotlar ve otonom sistemler, insanların yerini tamamen alamasa da iş yüklerini hafifletmekte ve bireylerin vasıflarını daha etkin kullanabilecekleri yeni çalışma alanları oluşturmaktadır. Örneğin Türkiye'nin ve dünyanın bilindik gıda markası olan Pakmaya, yaş ve kuru maya üretiminde öncü şirketler arasında yer almaktadır ve hizmet ettiği 130'dan fazla ülke bulunmaktadır. Üretim sürecinde bazı tesislerinde otomasyon sistemleri için kısıtlı yer sorunu yaşadıklarını belirten Üretim Müdürü Recep Özmetin, çalışanların manuel olarak yaptıkları iç kutuların açılması, mayaların kutulara yerleştirilmesi, ilgili kolilere dağıtılarak paketlenme işleminin tamamlanması gibi emek yoğun ve zaman alan işlerin mevcut iş yürüyüş stiline entegre ettikleri kobotlar¹ sayesinde hata yapma riskinin minimum seviyelere indiğini, üretim hacminin genişlediğini ve iş ergonomisinin iyileştiğini belirtmektedir (Robots, 2022).

Robotik ve otomasyon sistemleri hizmet sektöründe de yaygın kullanılmaktadır. Otellerde, havalimanlarında, müzelerde, restoranlarda, alışveriş merkezlerinde karşılaşılabileceğimiz hizmet robotları geliştirilmiştir (Özgürel & Şahin, 2021). Sivil havacılık sektörü, hizmet robotlarının yaygın kullanıldığı hizmet sektörleri arasında yer almaktadır. Bu robotlar yolcuların biletleme, check-in, bagaj, gümrük işlemleri gibi pek çok hizmeti doğru ve verimli kullanması için danışmanlık, tercümanlık hizmeti sunmaktadırlar (Çankaya, 2020, s. 468-470)

Hong-Kong Uluslararası Havalimanı ve Hamad Uluslararası Havalimanı gümrük işlemlerinin hızlı ve kolay tamamlanabilmesi için yüz tanıma özelliğine sahip robotlar kullanılmaktadır. Bu robotlar yolcuların güvenliğini sağlarken aynı zamanda giriş-çıkış işlemlerini hızlandırmakta ve olası gecikmeleri önlemektedirler. 2020 yılında Uluslararası Havalimanları Konseyi (Airports Council International - ACI) Avrupa Ödülleri'nde “*Dijital Dönüşümde En İyi Havalimanı*” seçilen İGA, bünyesinde bulundurduğu binlerce kameranın arasında 248 hassas gözlem robotuna sahiptir. Bu robotlar sayesinde şüpheli hareketler anında tespit edilmekte, yüz tanıma sistemi ile kayıp bagajlar kısa sürede sahipleriyle eşleştirilmektedir. Ayrıca, bu tür robotlar güvenlik

¹ Kobot veya kolboratif robot: insanların ve robotların aynı ortamda iş birliği içinde çalışabildiği otomasyon robot sistemlerine verilen ad.

güçleriyle iş birliği içinde çalışarak potansiyel risklerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Doğru, 2023).

4.4.4. Büyük veri (Big data)

Kökleri bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ve internetin yaygınlaşmasına kadar uzanan büyük veri, geleneksel veri işleme yazılımlarının işleyemeyeceği boyutlardaki veri setlerini ifade etmektedir. Dijitalleşmenin artması, sosyal ilişkilerin sanal mecralara taşınması, alışveriş alışkanlıklarındaki değişiklikler ve gündelik işlerin geliştirilen teknolojiler aracılığıyla mobil uygulamalar veya internet siteleri üzerinden yürütülmesi gibi gelişmeler, her anı veri olarak kayıt altına alan teknolojilerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Başlangıçta karmaşık ve anlamsız bir yığın gibi görünen bu veriler, toplama, sınıflandırma, analiz etme ve erişime hazır hâle getirme süreçlerinden geçirildiğinde, aslında büyük bir değer taşıdığı anlaşılmaktadır. Etkin veri kullanımı bankacılık, pazarlama, güvenlik, halkla ilişkiler vs. gibi birçok alanın gelişiminde ve genişletilmesinde önemli rol oynamaktadır (Doğan & Arslantekin, 2016, s. 15).

Büyük verinin karakteristik özelliklerini tanımlayan üç temel unsur, yani '3V', şunlardır: Hız (velocity), çeşitlilik (variety) ve hacim (volume). Bununla birlikte, internet kullanıcı sayısının hızla artması, teknolojik gelişmelerin ivme kazanması ve büyük verinin bir pazar hâline gelmesi, bu özelliklere iki unsurun daha eklenmesine yol açmıştır: Doğruluk (veracity) ve değer (value) (Gülleroğlu & Coşkun, 2024, s. 1141).

- **Hız:** Hız, verinin üretildiği ve işlendiği zamanı ifade etmektedir. Gerçek zamanlı veri akışları, kullanıcıların anlık kararlar alabilmesine olanak tanımaktadır. Her ne kadar veri analizinin, verinin ulaştığı anda tamamlanması her zaman mümkün olmasa da, verinin hedef kitleye geç ulaşması, sürecin başarıyla sonuçlanmasını engelleyebilmektedir (Doğan & Arslantekin, 2016, s. 24). Örneğin borsa yatırımlarını mobil uygulamalar aracılığıyla gerçekleştiren bir yatırımcı satmayı planladığı hissesini kullandığı uygulamaya yansıyan anlık veri bilgilerine göre elden çıkartacaktır. Bu dinamik yapı içerisinde verilerde yaşanacak herhangi bir gecikme, kullanıcılara ciddi finansal zararlar verebilmekte ve dolayısıyla platformun kullanıcı kaybetmesiyle sonuçlanabilmektedir.
- **Çeşitlilik:** Gelişen teknolojilerle birlikte verinin çıkış türleri de hızla çeşitlenmektedir. Çeşitlilik, birçok kullanılabilir veri türünü ifade etmektedir. Büyük veri, günümüz dijital dünyasında hızla büyüyen bir kavramdır ve özellikle iş

dünyasında, bilimsel araştırmalarda ve sosyal medyada büyük bir öneme sahiptir. Büyük veri, çeşitli kaynaklardan gelen, farklı formatlara sahip ve muazzam miktardaki verileri ifade eder. Bu çeşitlilik, veri analizi ve işlenmesi için yeni yöntemlerin geliştirilmesini gerektirir. Büyük veri çeşitliliği genellikle üç temel boyutta incelenebilir: Yapılandırılmış, yapılandırılmamış ve yarı yapılandırılmış veri (Gandomi & Haider, 2015, s. 138).

- ***Yapılandırılmış veri***, belirli bir formatta düzenlenmiş ve kolayca analiz edilebilen verilerdir. Genellikle sayısal verilerdir ve tablolar veya veri tabanlarında saklanır (Aksu & Güzeller, 2019, s. 17-18). Örneğin, CRM sistemine kaydedilen müşteri bilgileri (ad, soyad, e-posta, telefon numarası) yapılandırılmış veridir (Gandomi & Haider, 2015, s. 138).
- ***Yarı yapılandırılmış veri***, belirli bir yapı içermesine rağmen, tam anlamıyla düzenlenmemiş veriler olarak tanımlanır. Bu tür veriler, XML, JSON veya HTML gibi formatlarda bulunabilir. Yapılandırılmış veriden daha fazla esneklik sunar ve sorgulama için daha karmaşık yöntemler gerektirebilir. İnternette bir siteden başka bir siteye yönlendirilirken kullanılan URL formatları da yarı yapılandırılmış verilere örnektir (Aksu & Güzeller, 2019, s. 17-18).
- ***Yapılandırılmamış veri***, belirli bir formatı olmayan ve analiz edilmesi zor olan verilerdir. Metin belgeleri, video, ses kayıtları ve sosyal medya paylaşımları bu kategoriye girer. Yapılandırılmamış verilerin analizi, genellikle büyük veri işleme araçları ve Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing-NLP) teknikleri gerektirir. NLP, doğal dillerin çözümü ve analizi için kullanılan tekniklerin bütününe verilen addır. Bu çözümlemelerin sonucunda otomatik çeviri, otomatik metin düzeltme ve imla hatalarının düzeltilmesi gibi pek çok fayda sağlayan uygulama ortaya çıkmıştır (Doğan & Arslantekin, 2016, s. 28-29).

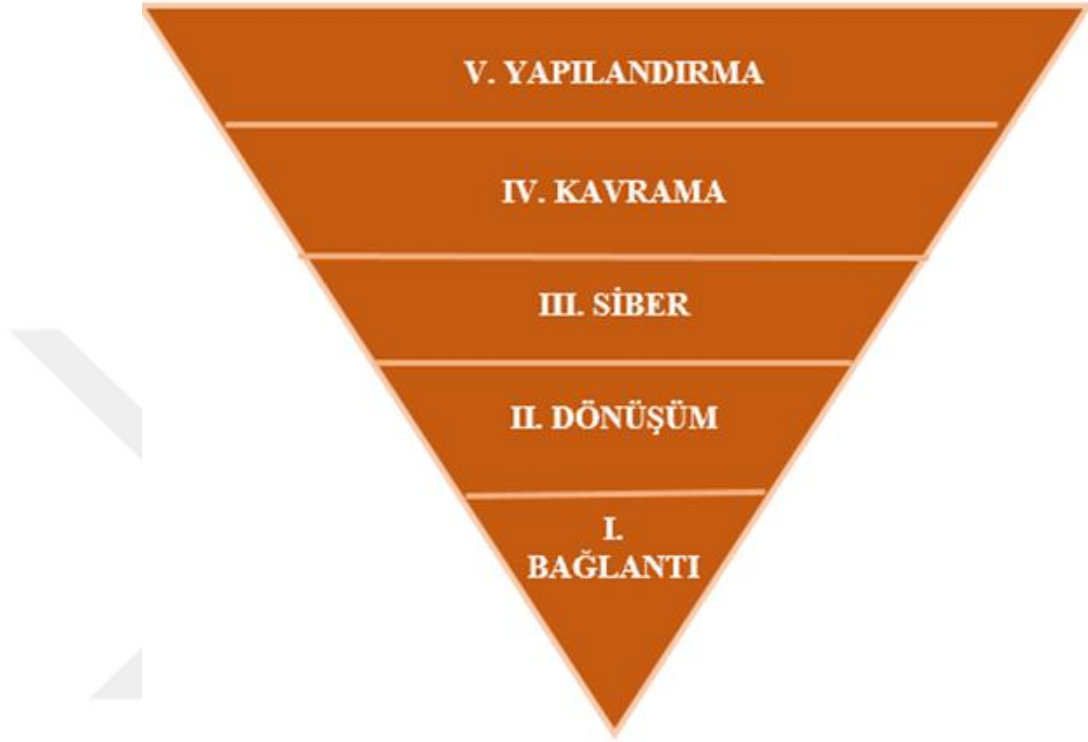
Büyük veri çeşitliliği, verilerin tanımını ve analitik yaklaşımını genişletir, işletmelerin ve araştırmacıların daha iyi kararlar almasına olanak tanır. Yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış veri türlerinin her biri, farklı ihtiyaçlara yanıt vermekte ve çeşitli analiz yöntemleri ile işlenmektedir. Bu çeşitlilik, büyük veri dünyasının dinamikliğini artırmakta ve veriye dayalı karar verme süreçlerini dönüşüme uğratmaktadır (Doğan & Arslantekin, 2016, s. 19).

- **Hacim:** Hacim, büyük veri tanımında verinin miktarını ve büyüklüğünü ifade eder. Veri hacmi, veri kaynaklarının sayısı, veri türleri ve verilerin depolanma sıklığı açısından önemli bilgiler sunar. Hacim faktörü veri analizi, depolama ve işleme konularında zorluklar meydana getirir. Hacim, petabayt (PB) ve eksabayt (EB) gibi ölçü birimleriyle ifade edilmektedir (Aktan, 2018, s. 5). Büyük veri hacminin yönetimi; depolama, işleme gücü ve veri analizi alanlarında önemli bir faktördür ve hacim doğru yönetilmediğinde sınırlılıklar ortaya çıkmaktadır.
- **Doğruluk:** Büyük veri biliminin, işletmelere ve şirketlere sağladığı faydaların yanı sıra geçerliliği ve güvenliliği kontrol edilmediği takdirde zarar verme durumu da bulunmaktadır. Veri doğruluğu, verilerin doğru, güvenilir ve geçerli olduğunu ifade eder ve analiz sonuçlarının kalitesini doğrudan etkilemektedir (Aktan, 2018, s. 11). Veri doğruluğu, özellikle büyük veri analitiği kapsamında kritik bir öneme sahiptir, çünkü hatalı veya yanlış veriler, yanıltıcı sonuçlara, yanlış karar verme süreçlerine ve mali kayıplara yol açabilmektedir (Uladi & Arı, 2023, s. 3).
Verinin doğruluğu dört unsurun kontrolü ile ortaya çıkmaktadır:
 - Verinin doğru olması,
 - Verinin eksiksiz ve bütün bir şekilde sunulması,
 - Verinin farklı kaynaklarda birbirleriyle tutarlı olması,
 - Verinin zamanına uygun ve güncel olması (Trifu & Ivan, 2014, s. 34).
- **Değer:** Verinin değeri, verinin kendisinden değil, verinin içerdiği bilgilere, öngörülere ve bu bilgilerin nasıl kullanılacağına bağlıdır. Veri, analiz edildiğinde ve değerli bilgiler çıkarıldığında gerçek bir anlam kazanır (Gandomi & Haider, 2015, s. 139). Büyük veri projelerinde başarı, yalnızca doğru verinin toplanması ile değil aynı zamanda bu verilerin işlenip, anlamlı hale getirilmesi ile ilgilidir (Oracle, 2022).

4.4.5. Siber fiziksel sistemler

Siber fiziksel sistemler (Cyber physical systems-CPS), fiziksel ve siber dünyaların entegrasyonunu sağlayan, sensörler, yazılım ve fiziksel bileşenlerin etkileşimiyle çalışan çok katmanlı sistemlerdir. Bu sistemler bileşenlerinin yardımı ile gerçek dünyada meydana gelen olayları algılayabilen, işlem yapabilen ve topladığı verileri sanal ortamlara aktararak çeşitli uygulamalarda kullanabilen sistemlerdir. CPS, akıllı şehir alt yapıları, üretim sektörleri, havacılık ve sağlık sektörleri başta olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır (Yüksel vd., 2024, s.25).

Bu sistemlerin etkinliğini artırmak için 5C mimarisi kullanılmaktadır. 5C, “*Connection (Bağlantı), Conversion (Dönüşüm), Cyber (Siber), Cognition (Kavrama)* ve *Configuration (Yapılandırma)*” olmak üzere beş temel faktörü kapsar. Bu faktörler, CPS'lerin yapısını ve işlevselliğini anlamak ve artırmak için kritik öneme sahiptir (Bagheri, et al., 2015, s.1622).



Şekil 4.1. Fiziksel sistemlerin 5C mimarisi

Kaynak: Bagheri, B., Yang, S., Kao, H.-A., & Lee, J. (2015). Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in industry 4.0 environment. IFAC Papers Online, 1622-1627.

- **Bağlantı:** Bağlantı, CPS’in çeşitli bileşenleri arasındaki veri iletimini ifade eder. Sensörler ve kontrol birimleri arasındaki iletişimi sağlamak için ağlar kullanılır. Bu aşamada, sistemler birbirleriyle bağlantı kurarak veri akışını sağlar (Çeliktaş vd., 2015, s. 27).
- **Dönüşüm:** Dönüşüm, fiziksel dünyanın verisinin siber ortama dönüştürülmesi sürecidir. Sensörlerden gelen analog veriler dijital verilere dönüştürülür. Bu aşamada, veriler anlamlı bilgiler haline getirilir ve daha sonraki işleme aşamalarında kullanılmak üzere hazır hale getirilir (Çeliktaş vd., 2015, s. 27).
- **Siber:** Sistemlerin yazılım bileşenlerini ifade eder. Bu, veri işleme, analiz, güvenlik ve kullanıcı ara yüzleri gibi unsurları içerir. Siber bileşen, fiziksel bileşenlerle

etkileşime geçerek sistemin genel işlevselliğine katkıda bulunur (Çeliktaş vd., 2015, s. 27).

- **Kavrama:** Kavrayış, CPS'nin çevresindeki durumu anlamasının ve bu bilgiyi içgörü haline getirerek kararlar almasının yeteneğidir. Makine öğrenimi ve yapay zekâ algoritmaları, sistemin veri analizi yaparak öngörüler geliştirmesini sağlar (Çeliktaş vd., 2015, s. 27).
- **Yapılandırma:** Sistemin yapılandırılması ve yönetimi ile ilgilidir. Bu süreç, sistem bileşenlerinin düzenlenmesi, optimizasyonu ve bakımını içerir. Etkili bir yapılandırma, sistemin verimliliğini artırır ve yönetim süreçlerini kolaylaştırır (Çeliktaş vd., 2015, s. 27).

CPS, günümüzde birçok alanda özellikle akıllı şehirler, otomotiv, havacılık, sağlık hizmetleri ve endüstriyel otomasyon gibi kritik alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı tarım uygulamaları, trafik ışıkları ve enerji verimliliği, hasta izleme sistemleri CPS uygulamalarına başlıca örnek teşkil etmektedir (Mahnamfar & Ünlü, 2022, s. 101-102). Havacılık sektörü, karmaşık ve yüksek riskli bir alan olduğundan, güvenli ve verimli operasyonlar gerçekleştirebilmek adına gelişmiş CPS'lerden faydalanmaktadır.

4.4.6. Bulut Bilişim Teknolojisi

Endüstri 4.0'ın yapı taşlarından biri olan bulut bilişim teknolojisi, verilerin ve uygulamaların internet üzerinden depolanmasını, işlenmesini ve dağıtılmasını sağlayan bir altyapı sunmaktadır. Bu teknoloji bireyler ve işletmeler için esneklik, güvenlik, düşük maliyet, sürekli güncellik gibi çeşitli avantajlar sağlamaktadır (Kavzoğlu & Şahin, 2012, s. 4-5). Bulut bilişim, tüm verilerin, belgelerin, yazılımların ve uygulamaların internet bulutu üzerindeki sanal depolarda saklanması sağlarken, kullanıcıların bu sunucu kaynaklarını ortak olarak kullanmalarına ve yönetimlerini göreceli olarak basit bir şekilde gerçekleştirmelerine imkân tanıyan bir teknolojidir (Çark, 2019, s.84; Elitaş & Özdemir, 2014, s. 94; Çelik, 2021, s.438).

4.4.6.1. Bulut bilişim teknolojisinin servis modelleri

Bulut bilişim teknolojisi üç farklı servis modeline sahiptir:

- **Servis Olarak Yazılım (Software as a Service-SaaS):** Kullanıcıların herhangi bir yerden sadece internete bağlanarak belirli platformlar üzerinden yazılım hizmetlerine

ulaşabildiği servis hizmetidir. Örneğin, en çok tercih edilen SaaS uygulamalarından biri olan Microsoft Office üzerinden oluşturulan bir projeye, ilgili yazılım cihazda kurulu olmasa dahi internet aracılığıyla erişilerek ön izleme ve düzenleme yapılabilmektedir (Sarıtaş & Üner, 2013, s. 195). Kullanıcılar uygulamaların bileşenleri üzerinde yönetme, denetleme, değişiklik yapma vs. gibi haklara sahip değildirler. Sadece yazılımların verdiği izinler ve belirlediği sınırlar çerçevesinde belirli ayarlamalar yapabilmektedirler (Kavzoğlu & Şahin, 2012, s. 3). Bu servis modelinde, uygulamalar genellikle abonelik sistemi ile çalışmaktadır. Örneğin; Microsoft 365, Google Drive, Netflix SaaS tabanlı uygulamalardır.

- **Servis Olarak Altyapı (Infrastructure as a Service-IaaS):** Kullanıcıların, sanal makineler, depolama alanları ve ağ bileşenleri gibi temel altyapı hizmetlerine erişimini sağlamaktadır. Kullanıcılar da bu erişimin yardımıyla diledikleri işletim sistemi kurarak uygulamalar geliştirip çalıştırabilmektedir (Şanlı, 2011, s. 330-331). Bu servis modelinde kullanıcılar sadece izin verilen uygulamalar ve işletim sistemlerinde tam kontrole sahiptirler (Karabudak & Akkuş, 2021, s. 4). Örneğin, Amazon Elastic Computer Cloud (EC2) bu modelin önde gelen uygulamalarındandır (Kavzoğlu & Şahin, 2012, s. 3).
- **Servis Olarak Platform (Platform as a Service-PaaS):** Kullanıcılara servisin barındırdığı yazılım dilleri ile uygulama geliştirme olanağı sağlamaktadır. Kullanıcı bu platformlar sayesinde altyapı yönetimi ile uğraşmadan uygulama geliştirebilmektedirler (Şanlı, 2011, s. 330). Örneğin, Microsoft Azure yaygın kullanılan bir PaaS sağlayıcısıdır.

4.4.6.2. Bulut bilişim teknolojisinin dağıtım modelleri

Bulut bilişim teknolojisinin dört farklı dağıtım modeli bulunmaktadır:

- **Özel Bulut (Private Cloud):** Tek bir kişi veya kuruluş için tasarlanmış, yalnızca o kişi veya kuruluşun kullanımına sunulan bulut altyapısıdır. Modeller içinde güvenlik ve gizlilik bakımından en gelişmiş bulut türüdür ve tüm kontroller kullanıcıya aittir (Karabudak & Akkuş, 2021, s. 3). Örneğin, Microsoft tarafından geliştirilen “*yüksek teknoloji sanallaştırma çözümü*” olarak tanımlanan Hyper-V bir özel bulut dağıtım modelidir (Güler, 2023, s.72).
- **Genel Bulut (Public Cloud):** Üçüncü taraf hizmet sağlayıcıları tarafından internet üzerinden sunulan ve çok sayıda kullanıcıya hizmet veren sistemlerdir. Bulut

altyapısı, bulut hizmetleri satan bir organizasyon tarafından genel halka veya büyük bir endüstri grubuna sunulmaktadır. Kullanıma bağlı ölçeklendirme ile fiyatlandırılmaktadır yani kullanıcının herhangi bir donanımı satın alması gerekmemektedir. Google Apps, Amazon AWS ve Microsoft BPOS en yaygın kullanılan genel bulut örnekleridir (Goyal, 2014, s. 23).

- **Hibrit Bulut (Hybrid Cloud):** Özel ve genel bulut türlerinin birleşiminden oluşan bu model, kuruluşlara belirli veri ve uygulamalarını özel bulutta tutarken diğerlerini genel bulutta barındırma olanağı sunmaktadır. Kuruluşların hacmine göre birleşim oranlarında farklılıklar ortaya çıkabilmektedir (Şanlı, 2011, s. 331; Goyal, 2014, s. 24-25).
- **Topluluk Bulutu (Community Cloud):** Benzer ihtiyaç ve gereksinimlere sahip bir grup organizasyon tarafından ortaklaşa kullanılan bulut altyapısına topluluk bulutları denir. Topluluk bulutları, veri güvenliği, gizlilik ve uyumluluk açısından özel bulutların avantajlarını sunarken, aynı zamanda genel bulutların esnekliğini sağlamaktadır (Goyal, 2014, s. 25-26). Topluluk bulutları genellikle yalnızca katılımcı kuruluşların erişimine açıktır ve bu kuruluşların kaynaklarını ortaklaşa kullanmalarına, veri paylaşımı yapmalarına ve iş birliği sağlamalarına olanak tanır (Şanlı, 2011, s. 331).

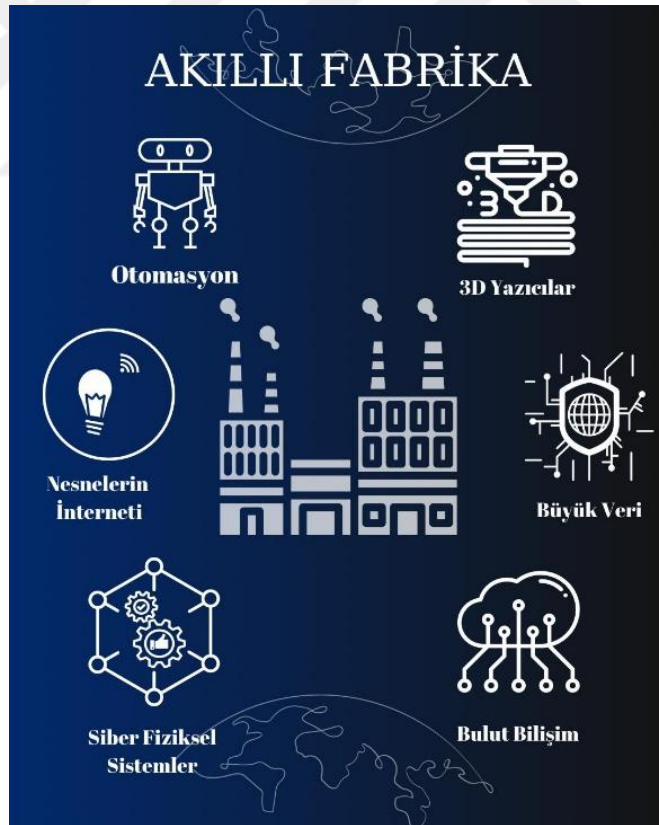
Bulut bilişim teknolojisi, günümüzde teknolojinin gelişimi ve yaygınlaşması sonucu olarak ortaya çıkan depolama, güvenlik ve erişim kısıtlılığı gibi pekçok problemin çözümünde önemli rol oynamaktadır. *Esneklik, güvenilirlik, maliyet tasarrufu ve ölçeklenebilirlik* bulut bilişim sistemlerinin kuruluşlar tarafından tercih edilmesinin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır (Şanlı, 2011, s. 331).

4.4.7. Akıllı Fabrikalar

Günümüzde sanayi, üretim süreçlerini optimize etmek, maliyetleri düşürmek ve müşteri taleplerine daha hızlı yanıt vermek için akıllı sistemlere yönelmektedir. Endüstri 4.0 temelde IoT, yapay zekâ, CPS ve büyük veri ve bulut bilişim teknolojilerine dayanmaktadır. Akıllı fabrikalar ise bu teknolojilerin beraber ve etkin kullanılarak oluşturulmuş üretim tesisleridir. Akıllı fabrikalar, üretim sürecinin tüm bileşenlerinin otonom ve birbirleriyle iletişim halinde fonksiyonlarını yerine getirdiği üretim sistemleridir (Özsoylu, 2017, s. 52). Bu fabrikalar, büyük veri teknolojisi sayesinde topladıkları verileri analiz etmekte ve üretim süreçlerini ona göre optimize etmektedir.

Bunun yanı sıra yapay zekânın alt kümesi olan makine öğrenimi sayesinde hataların ve sorunların önceden tespit edilmesi mümkün hale gelir. Bu avantaj sayesinde üretim tesislerinde meydana gelebilecek yüksek maliyetli aksamaların önüne geçilebilmektedir. Akıllı fabrikalar sadece zaman ve maliyet açısından avantajlar sağlamamakta aynı zamanda müşteri deneyiminin iyileştirilmesine ve kalite yönetiminin doğru yönlendirilmesine de yardımcı olmaktadır (Bolatan, 2020).

Akıllı fabrikaların en önemli avantajlarından biri, müşteri taleplerine hızlı ve esnek bir şekilde yanıt verebilmeleridir. Özelleştirilmiş ürünler, yüksek üretim hızları ve azaltılmış maliyetler, akıllı fabrikaların rekabet gücünü artıran faktörlerdir. Akıllı fabrikalar, endüstri 4.0'ı oluşturan yapısal bileşenlerin bir arada kullanımı sonucunda meydana gelen ve ürün, bilgi ve iletişim teknolojilerinin bütünleştirilerek üretim ve tedarik süreçlerine entegrasyonunu içeren üretim tesisleri olarak da ifade edilebilmektedir (Şekkeli & Bakan, 2018, s. 205). Özsoylu (2017)'ya göre akıllı üretim sistemleri ve akıllı fabrikalar 4.0'ın nihai hedefidir.



Şekil 4.2. Akıllı fabrikaların bileşenleri

Kaynak: Şekil yazın doğrultusunda hazırlanmıştır.

Akıllı fabrikalarda işleyiş mekanizması, veri akışının merkezde yer aldığı bir sistem etrafında şekillenir. Üretim sürecinin her aşamasında veriler toplanır ve toplanan veriler, merkezi bir veri tabanında analiz edilir. Analiz sonuçları, üretim süreçlerini iyileştirmek için kullanılırken, aynı zamanda makinelerin bakım ihtiyaçlarını da tahmin etme imkânı sunmaktadır. Akıllı fabrikalar tedarik, üretim, depolama gibi bütün üretim süreçlerini kontrol edebilmekte ve olası hataları ön görerek hata yapma riskini minimuma indirebilmektedir (Bolatan, 2020, s. 450).

4.4.8. Simülasyon

Simülasyon, gerçek dünyada var olan olayları, süreçleri veya sistemleri modelleyerek, bu modeller üzerinden deneyimler oluşturma ve analiz yapma yöntemidir. Simülasyonun amacı, bu modelleme tekniği ile gerçek dünyada karşılaşılabilecek olası hataların, aksaklıkların ve risklerin sanal ortamda ön görülmesi ve ihtimallere karşı hazırlıkların yapılabilmesidir. Simülasyonlar sayesinde önceden saptanan olumsuz ihtimaller, hazırlık yapma şansı doğurmaktadır. Yapılan bu ön hazırlıklar, riskleri minimuma indirebilme potansiyeline sahip olmakla birlikte, herhangi bir olumsuz durumda hızlı geri bildirimler sağlayarak hız, maliyet ve zaman tasarrufu sunmaktadır. Bu avantajlar sayesinde simülasyonlar; eğitim, sağlık, işletme, havacılık ve imalat gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Çelen, 2017, s. 10). Günümüzde simülasyon, endüstri 4.0'ın diğer bileşenleri yapay zekâ, artırılmış gerçeklik, büyük veri analizi gibi sistemlerin entegrasyonu ile oluşturulmuş sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır fakat “*simülasyon*” sadece bilgisayar ve yazılım destekli bir modelleme yöntemi olarak düşünülmemelidir. Örneğin antik çağ döneminde savaş stratejisi geliştirmek için geliştirilen haritalar ve bu haritalar üzerinden olası savaş senaryoların ön görülmesi de bir simülasyon tekniğidir. Simülasyonların kullanıldığı başlıca alanlar şunlardır:

- **Havacılık sektörü**, teknolojinin en yoğun kullanıldığı alanlardan biridir. Özellikle emniyet ve güvenliğin ön planda olduğu havacılık sektöründe, simülatörler büyük rol oynamaktadır. Uçuş eğitimleri, uçak bakım-onarımı, personel eğitimi, uçak yük dağılımı, hava trafik kontrol uygulamaları gibi çoğu süreçte simülasyon teknolojilerine başvurulmaktadır (Mevlutoğlu, 2013, s. 21).
- **Sağlık Sektörü**, karmaşık ve dinamik bir yapıya sahiptir ve sürekli güncelle ve iyileştirme ihtiyacı olan bir sektördür. Bu sebeple teknolojik gelişmeler, sağlık

sektörünü doğrudan etkilemektedir. Simülasyonlar, sağlık sektöründe; hasta akış yönetiminde, cerrahi operasyonların modellenmesinde ve cerrah adaylarının eğitilmesinde, sağlık ekipman ve teçhizatlarının bakım-onarımı, hastalıkların teşhisi ve tedavi süreci gibi pek çok alanda etkin şekilde kullanılmaktadır (Karadayı vd., 2019, s.2).

- **Ulaşım ve lojistik** alanında rotolama, zaman ve kapasite yönetiminde simülasyon teknolojisinin kullanılması etkili bir yöntemdir. Yol çalışmaları, kazalar, trafik yoğunluğu gibi durumların yaşanması halinde geliştirilmiş simülasyonlar yardımı ile yeni güzergahlar belirlenebilmektedir. Bunun yanı sıra stratejik lojistikte; kullanılacak ulaşım aracına yüklenecek yükün etkin ve güvenli dağılımı, stok kontrol sistemleri, üretim ve dağıtım planlaması simülasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir (Orçanlı, 2020, s. 140).
- **Eğitim Sektörü**'nde özellikle yükseköğretim programlarında mesleğe hazırlanan öğrenciler simülatörler yardımı ile sanal ortamlardan iş süreç işleyişine dâhil olabilmektedirler. Öğrenciler, üretim süreci ve mühendislik tasarımı hakkında bilgi edinmek amacıyla sanal fabrikalar üzerinde simülasyonlar gerçekleştirebilmekte; böylece süreçlerin iyileştirilmesine yönelik deneyim kazanmış olmaktadır. Dış hekimliği öğrencileri, sanal kafatası gibi dijital ikiz ile üretilmiş araçlar yardımıyla simülasyonlar üzerinde eğitim süresince yetkinlik kazanabilmektedirler (Çelen, 2017, s. 21). Havacılık sektöründe, pilot adayları uçuş simülatörleri yardımı ile eğitim alarak mesleğe hazırlanmakta ve kendilerini geliştirmektedirler (Bernard, 2012, s. 8).

4.4.9. 3D Yazıcılar

3D yani üç boyutlu yazıcılar, katmanlı üretim teknolojisi kullanarak dijital ortamlardan tasarlanmış ürünleri fiziksel nesnelere dönüştürmektedirler. Eklemeli üretim olarak da nitelendirilen 3D yazıcıların kullanımı, maliyet ve zaman tasarrufu, ürün hafifliği, karmaşık üretim süreçlerini basitleştirmesi, insan kaynaklı hata oranını azaltması gibi birçok avantaj sağlamaktadır (Kökhan & Özcan, 2018, s. 82). Özellikle sürdürülebilir olması ve zaman tasarrufu sağlaması, stoksuz üretim sistemlerini desteklemektedir. Ayrıca, karmaşık geometrileri üretme yeteneği, mühendislik ve tasarım alanlarında yenilikçi çözümler sunmaktadır.

Günümüzde kullanılan 3D yazıcı teknolojileri, birinci ve ikinci sanayi devrimlerinde üretim süreçlerinde kullanılan makine ve sistemlerden oldukça farklıdır.

“*Geleneksel*” üretim olarak nitelendirilen çıkartma tabanlı üretim yani ham maddelerin kesilmesi, birleştirilmesi nihai ürünün üretimi tamamlanana kadar birçok atık madde ortaya çıkartmaktadır. 3D yazıcılar ise ekleme tabanlı bilgi-imalat üretimi yapmaktadır. Dijital ortamdan aldığı bilgi ve verileri kullanarak malzemeleri üst üste getirerek katmanlar oluşturmakta ve nihai ürün üretimi tek parça olarak tamamlamaktadır. 3D yazıcılar ile yapılan üretimde kullanılan hammadde miktarı ise geleneksel üretimde kullanılan hammadde miktarının yaklaşık onda biri oranındadır (Bulut & Akçacı, 2017, s. 54).

3D teknolojisi, prototip üretiminden son ürünlerin imalatına kadar geniş bir yelpazede kullanılma potansiyeline sahiptir. Özellikle Endüstri 4.0 ile entegrasyonu, birçok sektörde üretim süreçlerini daha esnek, daha hızlı ve daha kişiselleştirilebilir hale getirmiştir. Sağladığı avantajlar, bu teknolojinin havacılıktan inşaata kadar birçok sektörde kullanımını yaygınlaştırmıştır (Kökhan & Özcan, 2018, s. 83). 3D Yazıcıların kullanıldığı alanlar ve avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- **Havacılık ve uzay endüstrisinde**, hafif ve dayanıklı parçaların üretimi için 3D teknolojisi kullanılmaktadır. Uçak verimliliğinin artırılması ve yakıt tasarrufunun sağlanması açısından hafif ve dayanıklı parçalar kritik rol oynamaktadır (Kökhan & Özcan, 2018, s. 83).
- **Otomotiv sektöründe** araç parçaları ve bileşenlerinin seri üretimi için 3D yazıcılar kullanılmaktadır. Bu teknoloji, tasarım sürecini hızlandırarak mühendislerin daha hızlı prototipler oluşturmalarına ve ürünlerdeki tasarım hatalarını erkenden belirlemesine olanak tanımaktadır (Özel vd., 2020, s. 20).
- **Sağlık sektöründe** 3D teknolojisinin “*kışıselleştirme*” olanağı ön plana çıkmaktadır. Hastaya özel implantlar ve protezler bu teknoloji ile üretilmektedir (Tüylek, 2023, s. 80-81).
- **Mimarlık ve inşaat sektörü** ise 3D teknolojisini en yaygın kullanan sektörlerden biridir. Bu teknoloji ile bina ve yapı modellemeleri oluşturularak sürece hız kazandırılmaktadır. Bunun yanı sıra inşaat sektöründe sadece 3D yazıcılar kullanılarak inşa edilen yapılar da bulunmaktadır. Örneğin 2023 yılında Japonya menşeli inşaat şirketi Obayashi 3D teknolojisini kullanarak “*3dpod*” isimli yapıyı baskılamış ve bu yapının depreme dayanıklı yapısını ön plana çıkartarak halka açık tanıtımlar gerçekleştirmiştir (Göncüoğlu, 2023).

- **Moda endüstrisinde**, özellikle gözlük çerçevesi üretiminde kullanılan bu teknoloji, üreticilerin müşteri taleplerine hızlı cevap vermelerine ve müşteri memnuniyetini yüksek tutmalarında önemli rol oynamaktadır (Can & Arabacı, 2021, s. 451-455).
 - Tek bir 3D yazıcı birden çok şekilde kullanılabilir. Yani farklı ürünlerin üretimi için farklı yazıcılara ihtiyaç duyulmaz. Gerekli dijital plan ve hammadde kullanılarak farklı alanlarda kullanılabilmektedir.
 - Farklı hammaddelerin birleştirilmesi geleneksel imalat makineleri kullanılarak zordur. Çalışma prensipleri parçala/kes-birleştir şekilde olduğu için bu işlemler farklı hammaddeleri kolayca karıştırmaz. 3D yazıcıları ise katmanlı üretim yaptığı için çok malzemeli üretime elverişli yazıcılar kullanılarak üretim daha kolay ve esnek ilerlemektedir (Kökhan & Özcan, 2018, s. 82).
 - 3D yazıcılar, erişimi olan herkese üretim yapma fırsatı sunmaktadır. Bu da üretimde kişiselleşmeye doğru yönelimlerin artacağını göstermektedir. Bu sayede sipariş üzerine üretim kolaylaşmakta ve stok maliyetleri azalmaktadır (Soylu, 2018, s. 54).

5. SİVİL HAVACILIK

Havacılık; havadan hafif ya da ağır hava araçlarının gökyüzünde tutunması, süzülmesi ve yeryüzüne inmesini kapsayan faaliyetler bütünüdür. Sivil havacılık ise bu havacılık faaliyetlerinin bir ülkenin ulusal ve uluslararası düzeyde askeri olmayan, devlet dışı hava taşımacılığı faaliyetlerini kapsayan türüne verilen addır (Gerede, 2006, s. 198). Gerede'nin (2006) de çalışmasında belirttiği gibi "sivil havacılık" kavramının literatürde net bir tanımı bulunmamaktadır. Sivil havacılık, faaliyetlerin kapsam bakımından ayrılması ile ortaya çıkan bir kavramdır. Şikago Sözleşmesi Milletlerarası Sivil Havacılık Anlaşması'nın 3\ b maddesinde bu ayrım şöyle belirtilmiştir: "*Askeri, gümrük ve zabıta hizmetlerinde kullanılan hava nakil vasıtaları, devlet hava nakil vasıtası sayılır*" (UNIC Turkey, 2002, s. 1). Bu tanımdaki vasıtaların dışında kalan ticari, sportif ve amatör hava nakil vasıtaları sivil havacılık kapsamında değerlendirilmektedir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organisation-ICAO), sivil havacılık faaliyet kapsamını aşağıdaki gibi belirtmektedir:

- Hava araçları imalat, bakım ve onarım faaliyetleri
- Hava araçları ile işletmecilik faaliyetleri (ticari havacılık)
- Havaalanları yapım ve işletim faaliyetleri
- Haberleşme, seyrüsefer ve hava trafik hizmetleri
- Düzenleme ve işletim faaliyetleri
- Havacılık için meteoroloji faaliyetleri
- Çevre koruma faaliyetleri (Gerede, 2006, s. 198).

Sivil havacılık; hem ulusal hem de uluslararası düzeyde ekonomik, teknolojik ve hukuksal boyutlarıyla stratejik öneme sahip bir sektördür. Özellikle 20. yüzyılın ortalarından itibaren hızla gelişen sivil havacılık faaliyetleri, küreselleşmenin en önemli taşıyıcılarından biri haline gelmiştir. Emniyet yönetimi ve güvenlik gerekliliklerinin en üst seviyelerde olduğu sivil havacılık sektörü, ICAO ve Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (International Air Transport Association-IATA) gibi otoriteler tarafından denetlenmektedir (Güneri, 2023, s. 30). Bu bağlamda, ülkelerin sivil hava taşımacılığı düzenlemeleri ile uluslararası sivil havacılık otoriteleri arasındaki etkileşim ve faaliyetlerin uyumu kritik bir öneme sahiptir. Türkiye açısından değerlendirildiğinde, yapılan altyapı yatırımları ve sivil hava yolu taşımacılığındaki serbestleşme politikaları, sivil havacılığın büyüme hızını önemli ölçüde artırmıştır (Yüksel H. , 2014, s. 14).

5.1.Sivil Havacılık Tarihi

Sivil havacılık, yolcu ve kargo taşımacılığı amacıyla sivil hava araçlarının kullanıldığı bir ulaşım türüdür. Modern anlamda gelişimi, 20. yüzyılın başlarından itibaren hız kazanmış ve bu süreç, insanlık tarihi açısından dönüştürücü bir etkide bulunmuştur. Sivil havacılık; küresel ulaşım ağlarının gelişmesi, uluslararası ticaretin kolaylaşması, turizm sektörünün büyümesi ve kültürlerarası etkileşimin artmasında önemli rol oynamıştır. Sivil havacılık tarihini dört döneme ayırarak ele almak mümkündür: Havacılığın Öncü Dönemi (1630-1914), İkinci Dünya Savaşı Dönemi (1914-1945), Savaş Sonrası Dönem (1945-1990) ve Modern Havacılık Dönemi (Sevinçel, 2018).

5.1.1. Havacılığın Öncü Dönemi-Havacılık 1.0 (1630-1914)

İnsanların uçuş arzusu, yüzyıllar boyunca hayal gücünü ve keşif tutkusunu besleyen derin bir istek olmuştur. Gökyüzünü yakından görme ve onun sonsuzluğunu keşfetme arzusu, bu hayali gerçekleştirme yönünde insanları harekete geçirmiştir.

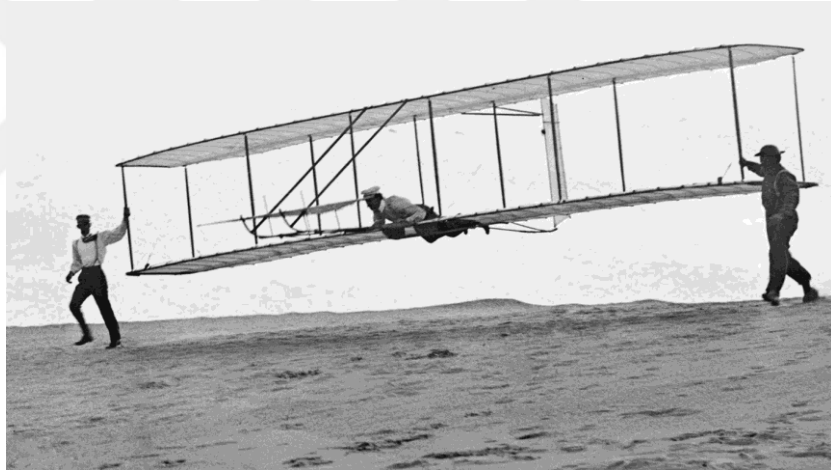
Uçuş isteği, mitolojilerde, edebiyatta ve sanatlarda sıkça karşılaşılan bir tema olarak karşımıza çıkar. İnsanlık tarihinde uçuş arzusu İkarus Miti ile simgelenmiştir. Ancak yazılı kaynaklarda gerçekten uçmayı denemiş “*İkarus*” adında bir kişinin yaşayıp yaşamadığına dair somut bir kanıt bulunmamaktadır (Çekderi, 2019, s. 2). Yazılı kaynaklar bağlamında değerlendirildiğinde uçuş eylemini gerçekleştirme yönündeki girişimler Osmanlı Dönemi’ne uzanmaktadır.

Osmanlı döneminde, Evliya Çelebi’nin “*Seyahatname*” adlı eserinden edinilen bilgilere göre, dönemin bilim insanlarından Lagari Hasan Çelebi’nin, 17. yüzyılda roket benzeri bir düzenek yardımıyla kendini havaya fırlatarak yaklaşık 20 saniyelik bir uçuş gerçekleştirdiği bilinmektedir. Aynı dönemde, Hazerfen Ahmet Çelebi’nin, kuşların uçuşunu inceleyerek tasarladığı kanatlar sayesinde Galata Kulesi’nden havalanarak yaklaşık 3 kilometrelik bir mesafe kat ettiği ve İstanbul Boğazı’nı uçarak geçtiği bilinmektedir (Pehlivanoğlu, 2013, s. 9-10). Hazerfen’in başarılı girişimi takip eden olay ise Fransa’da gerçekleşen hava balonu uçuşlarıdır.

Fransız Montgolfier Kardeşler, 18. yüzyılın sonlarında gerçekleştirdikleri sıcak hava balonu uçuşları ile havacılığın temellerini atan öncüler arasında yer almaktadır. Kendi tasarladıkları hava balonu ile ilk denemelerinde bazı çiftlik hayvanlarını taşıyarak

1.5 kilometreden fazla yol kat eden bu uçuşu, balonla insan taşımacılığı yapılan uçuşlar izlemiştir. Bu gelişme, insanlı uçuşların öncüsü olarak kabul edilmektedir (Pehlivanoğlu, 2013, s. 4). Dünyanın hızla gelişimi ve değişimi, başarısız uçuş denemeleri ve meydana gelen kazalar nedeniyle havacılık tarihi açısından 1903 senesine kadar yazılı tarihe geçen bir gelişme bulunmamaktadır.

Modern havacılığın temellerini attığına inanılan ve geliştirdikleri aerodinamik ilkelerin günümüzdeki sistemlerin doğuşunu oluşturduğu kabul edilen Wright Kardeşler, 1903 yılında gerçekleştirdikleri ilk motorlu uçuş denemesiyle tarihe geçmiştir. Orville ve Wilbur Wright, genç yaşlarda geliştirdikleri bilim ve mühendislik meraklarını uçuş arzusuyla birleştirerek bu alanda çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmaların sonucunda insanlık tarihinin ilk motorlu uçuş deneyimini gerçekleştirmişlerdir (Esendağ, 2021). Wright Kardeşler'in tasarladıkları motorlu hava aracıyla gerçekleştirdikleri başarılı uçuş, havacılığın hızla gelişmesine önemli katkılar sağlamıştır.



Resim 5. 1. Wright kardeşlerin "*Flyer*" ile uçuşu

Kaynak: Esendağ, M. (9 Temmuz 2021). Wright kardeşler'in hayatı. Herkes için havacılık: <https://herkesicinhavacilik.com/2021/07/09/wright-kardeslerin-hayati/>

1 Ocak 1914 tarihinde, Florida'nın St. Petersburg kenti ile Tampa kenti arasında ilk düzenli yolcu uçuşu gerçekleştirilmiştir. Bu tarihi uçuş, sivil havacılığın öncülerinden ve Aloha Airlines'ın kurucusu olan Tony Jannus tarafından yapılmıştır. Jannus, 23 yaşındaki bir yolcu ile Benoist XIV model bir hidroplan kullanarak 21 kilometrelik güzergâhı 23 dakikada kat etmiştir. Uçuş, dünya çapında belirli bir rota üzerinde tarifeli olarak gerçekleştirilen ilk sivil yolcu taşımacılığı olarak tarihe geçmiştir ve bu dönem "*Havacılık 1.0*" olarak adlandırılmıştır (Tuncal & Uslu, 2021, s. 566).

5.1.2. İkinci Dünya Savaşı Dönemi-Havacılık 2.0 (1915-1945)

İkinci Dünya Savaşı (1939–1945), dünya tarihinin en yıkıcı çatışmalarından biri olmasının yanı sıra, sivil havacılığın da önemli bir dönüşüm geçirdiği bir dönem olmuştur. Savaşın başlamasıyla birlikte birçok ülke, havacılık sektörünü askeri amaçlarla yeniden yapılandırmış ve bu durum, sivil havacılığın gelişimini doğrudan etkilemiştir (Sevinçel, 2018).

Sivil havacılığın gelişim gösterdiği savaş öncesi dönem, ülkelerin savaş stratejilerini geliştirme arzuları doğrultusunda, zamanla askeri havacılığın ön plana çıktığı bir döneme dönüşmüştür. Başta sivil havacılığın gelişimini sekteye uğratan gibi görünse de, askeri havacılık alanında yapılan çalışmalar uzun vadede sivil havacılığın ilerlemesine büyük katkı sağlamıştır. Özellikle jet motorlarının icadı ve geliştirilmesi, sivil havacılıkta devrim niteliğinde bir etki meydana getirmiştir. İkinci Dünya Savaşı'na kadar hava araçlarında içten yanmalı ve dizel motorlar tercih edilmekteyken, jet motorunun geliştirilmesiyle birlikte bu motorlar zamanla yerini daha güçlü ve verimli jet motorlarına bırakmıştır (Sevinçel, 2018). Savaşın ardından sivil havacılık sektörü yeniden canlanma dönemine girmiştir. Uluslararası yolcu taşımacılığı hızla büyümeye başlamış, dünya genelinde birçok yeni havalimanı inşa edilmiştir. Sınır ötesi ticari hava taşımacılığının yaygınlaşmasıyla birlikte, “*Havacılık 2.0*” olarak adlandırılan yeni bir dönem başlamıştır (Tuncal & Uslu, 2021, s. 566).

1944 yılında düzenlenen Chicago Konferansı, uluslararası havacılığın standartlarını belirleyerek sivil havacılığın yeniden yapılandırılmasına önemli katkılar sağlamıştır. Bu konferans sayesinde havacılık alanında uluslararası iş birliği ve organizasyon geliştirilmiş; sivil havacılıkla ilgili kurallar ve düzenlemelerin temelleri atılmıştır. Ülkeler arası hava yolu taşımacılığının kurallarını belirlemek ve denetlemek amacıyla, konferans sonucunda Birleşmiş Milletler'e (BM) bağlı ICAO kurulmuştur. ICAO, uluslararası sivil havacılığın güvenli, düzenli ve eşit koşullarda gelişimini sağlamak amacıyla temel ilkeleri belirleyen ve üye ülkelere benimseten önemli bir kuruluştur (Güneri, 2023, s. 33).

ICAO'nun kuruluşunun akabinde 1945 senesinde ticari havacılığın adil rekabet koşullarında, emniyetli ve düzenli gerçekleştirilmesini amaçlayan IATA kurulmuştur. IATA'nın kuruluşu, II. Dünya Savaşı sonrası dönemde hava taşımacılığının artan önemine dayanmaktadır. Hava yollarının uluslararası düzeyde koordinasyon ve standartlaşma ihtiyacı, IATA'nın oluşturulması için temel bir etken olmuştur. IATA'nın

temel görevleri arasında; uluslararası tarifelerin belirlenmesi, biletleme standartlarının geliştirilmesi, hava yolculuğu güvenliğinin artırılması ve hava taşımacılığında finansal işlemlerin kolaylaştırılması bulunmaktadır (IATA, 2023).

5.1.3. Savaş Sonrası Dönem-Havacılık 3.0 (1945-1990)

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından, askeri teknolojilerin sivil havacılığa aktarılmasıyla birlikte, yolcu ve kargo taşımacılığindeki ilerleme hız kazanmıştır. Savaş sonrası dönemde sivil havacılık faaliyetlerini gerçekleştirmek amacıyla kurulan hava yolu şirketlerinin sayısında ciddi artışlar yaşanmıştır. Dönemin en çarpıcı ve devrim niteliğinde sayılan gelişmesi ise ilk jet yolcu uçağı olan de Havilland Comet'in, 1952'de hizmete girmesi olmuştur. 36-44 kişi arasında değişen yolcu taşıma kapasitesine sahip olan bu ticari yolcu uçağı havacılık sektörünün dönüm noktalarından sayılmaktadır. Jet motorlu hava araçlarının kullanımıyla "*Havacılık 3.0 endüstrisi*" dönemi başlamıştır (Tuncal & Uslu, 2021, s. 566).

Ardından, Boeing 707 gibi jet motorlu uçaklar, yolcu taşımacılığında devrim niteliğinde bir gelişme sunarak hava yolu seyahatini daha hızlı, konforlu ve erişilebilir hale getirmiştir. Bu dönemde hava yolu şirketleri arasındaki rekabetin artması, düşük maliyetli hava taşımacılığı modellerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Küresel çapta hava trafiği hızla büyümeye başlamış ve 1960'larda sivil havacılık, dünya çapında önemli bir sektör haline gelmiştir (İnanç, 2023). Uzun menzilli uçakların sayısının artması ve teknolojik gelişmeler, uluslararası seyahatin yaygınlaşmasını beraberinde getirmiştir. 1970 yılında Boeing 747'nin ilk kez hizmete girmesiyle birlikte, geniş gövdeli büyük yolcu uçaklarının dönemi başlamıştır. Hava araçlarının sürekli geliştirilmesi, havacılık sektörünün küreselleşme sürecini hızlandırmıştır. Ancak bu gelişmeler, havacılık güvenliği ve çevresel etkiler gibi konularda çeşitli endişeleri de beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda, ulusal ve uluslararası kuruluşlar, güvenlik ve emniyete yönelik katı kurallar çerçevesinde koordineli çalışmalar yürüterek söz konusu risklerin en aza indirilmesi için çaba sarf etmektedirler (Sevinçel, 2018).

5.1.4. Modern Havacılık Dönemi-Havacılık 4.0

Havacılık sektörü, dijital teknolojilerin hızlı bir şekilde evrim geçirmesiyle "*Havacılık 4.0*" olarak adlandırılan yeni bir döneme girmiştir. Bu kavram, Endüstri 4.0'ın

prensiplerini havacılık alanına uygulayarak uçak üretimi, hava taşımacılığı, bakım ve yönetim süreçlerinde etkili bir dijital dönüşüm sağlamayı amaçlamaktadır. Havacılık 4.0; yapay zekâ, IoT, büyük veri analitikleri, bulut bilişim ve robot teknolojileri gibi yenilikçi çözümlerle donatılmış bir sistem oluşturmaktadır (Sevinçel, 2018). Çalışmanın konusu bu başlık ile yakından ilgili olduğundan bu başlık çalışmanın ilerleyen sayfalarında ayrıca bir bölüm olarak ele alınmıştır.

5.2. Türkiye’de Sivil Havacılık Tarihi

Sivil havacılığın tarihi, insanlık tarihinin en önemli teknolojik ve toplumsal gelişmelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ulaşım alanındaki bu ilerlemeler; ekonomik, sosyal ve kültürel dönüşümleri de beraberinde getirmiştir. Bu dönüşüm süreci, Türkiye özelinde de benzer bir seyir izlemiştir. Türkiye’de sivil havacılığın tarihsel gelişimini, Cumhuriyet’in ilanından önceki dönem ile Cumhuriyet sonrası dönem şeklinde iki ana başlık altında incelemek mümkündür.

5.2.1. Cumhuriyet öncesi dönem

Türkiye’de havacılık tarihi, Osmanlı dönemine dayanmaktadır. 17. yüzyılda Lagari Hasan Çelebi ve Hazerfen Ahmet Çelebi yapılan teorik çalışmaların yanında başarılı uçuş denemeleri gerçekleştirerek ilk adımı atmıştır. 20. yüzyılın başlarında Harbiye Nazırı Şevket Ahmet Paşa döneminde havacılıkta gelişiminin ülke açısından önemi tekrar gündeme gelmiştir. 1909 yılı Modern Türk Havacılık Tarihinin başlangıcı olarak bilinmektedir. Bu başlangıcı takip eden senelerde Fransa’da gerçekleştirilen havacılık konferansına katılım sağlanmış ve 1911 yılında yapılan imtihan neticesinde en yüksek puanı alan öğrenciler Avrupa’ya havacılık eğitimi almak üzere gönderilmiştir. İtalya ile yapılan Trablusgarp Savaşı’nda hava araçlarının savaştaki gücüyle yakından tanışan Türkler, 1911 yılında Türk ordusunun ilk havacılık teşkilatı olan “*Havacılık Komisyonu*” nu kurmuştur (Pehlivanoğlu, 2013, s. 11). Türkiye’de ilk uçak tasarımı Vecihi Hürkuş tarafından yapılmıştır. 1923 yılında ilk uçak projesine başlayan Hürkuş, 14 aylık bir sürecin ardından “*Vecihi K-6*” isimli bir uçak tasarlamış ve başarıyla uçurmuştur (Çakıcı, 2020).



Resim 5.2. İlk Türk Uçağı Vecihi K-VI

Kaynak: TVHMD. (1924). İlk Türk uçağı Vecihi K-VI. Tayyareci Vecihi Hürkuş Müzesi Derneği: <https://tayyarevecihi.com/vecihi-hurkus/hurkusun-kullandigi-102-tip-ucak/ilk-turk-ucagi-vecihi-k-vi/>

5.2.2. Cumhuriyet sonrası dönem

Cumhuriyet'in ilanının ardından 1925 yılında Eskişehir'de hava okulu açılmıştır. Türkiye, Cumhuriyet'in ilk dönemlerinde askeri ve sivil hava personelleri yetiştirmekle yetinmemiş, yerli ve milli hava araçları üretmek için de çalışmalar yapmış, fabrikalar kurmuştur. Aynı sene içerisinde Ankara'da Türk Tayyare Cemiyeti ve Kayseri'de uçak fabrikası kurulmuştur. Mustafa Kemal Atatürk *"İstikbal göklerde dir. Çünkü göklerini koruyamayan milletler yarınlarından asla emin olamazlar"* sözünü bu cemiyetin açılışında söylemiştir. Türk Tayyare Cemiyeti günümüzde Türk Hava Kurumu olarak adlandırılmaktadır (Güneri, 2023, s. 59-60).

1933'e kadar yabancı firmaların Türkiye'de gerçekleştirdiği uçuşların ardından günümüzde THY olarak bilinen Hava Yolları Devlet İşletmesi kurulmuş ve aynı yıl uçuşlarına başlamıştır. İlk tarifeli uçuşunu Amerika'dan temin ettiği uçaklar ve personeller ile Eskişehir-Ankara arasında gerçekleştirmiştir. 1930 yılında yapılan İzmir İktisat Kongresi'nde alınan kararla *"Devletleştirme"* politikası havacılıkta da kendini göstermiştir ve yabancı firmaların verilen imtiyazlar geri alınarak iç hatlardaki uçuşlar sadece devlet sahipliğindeki işletmeler tarafından yapılmıştır (Yalçınkaya, 2019, s. 408-410). 1936 yılında Türk Havacılık Tarihine adını yazdıran Sivaslı İş İnsanı Nuri Demirağ, Türkiye'nin ilk özel teşebbüse dayalı uçak fabrikasını kurmuştur. Eskişehir ve Kayseri'de kurulan uçak fabrikalarında üretim devam etmekteydi fakat bu uçakların lisansları

yabancı şirketlerin elindeydi. Nuri Demirağ'ın bu girişimi sayesinde yerli ve millî uçaklar üretildi. Üretilen ilk tek motorlu uçağa kendi adının baş harflerinden ve fabrikanın kurulduğu senenin rakamlarından oluşan “*NuD-36*” ismi verilmiştir (Pehlivanoğlu, 2013, s. 12).



Resim 5.3. NuD-36 Türk Eğitim ve Avcı Uçağı

Kaynak: Wikipedia. (5 Mayıs 2024) <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nu.D-36>

1938 yılına gelindiğinde, Nuri Demirağ'ın kurduğu fabrika Türkiye'nin ilk yolcu uçağını üretmiştir. Altı yolcu kapasiteli bu uçak, NuD-38 adıyla isimlendirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı nedeniyle üretim süreci durdurulan uçak, 26 Mayıs 1944 tarihinde havalanarak ilk yolcu uçuşunu İstanbul Yeşilköy ile Ankara arasında gerçekleştirmiştir. Barış zamanında yolcu uçağı olarak kullanılan NuD-38, savaş dönemlerinde yolcu koltukları devre dışı bırakılarak savaş uçağı olarak da kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır (Özbek, 2023).



Resim 5.4. İlk Türk Yolcu Uçağı Nu.D.38

Kaynak: Özbek, T. (2023, Mayıs 26) <https://tolgaozbek.com/hobi/havacilik-tarihi/79-yil-once-bugun-ilk-turk-yolcu-ucagi-nu-d-38-ilk-yolcu-seferini-yapti/>

Türkiye Cumhuriyeti, kurucularının da havacılığa verdiği önemle dünyadaki gelişmeleri yakından takip etmiş ve çağa ayak uydurmuştur. İnsanların havacılığa olan ilgisi ve artan talepler, tarifeli uçuş sayısının da artmasına neden olmuştur. Hava Yolları Devlet İdare İşletmesi, o dönemde bugünkü Millî Savunma Bakanlığı'na karşılık gelen Millî Müdafaa Vekâleti bünyesinde faaliyetlerini sürdürmekteydi. 1938 yılında çıkarılan bir kanunla ismi “*Devlet Hava Yolları Umum Müdürlüğü (DHY)*” olarak değiştirilmiş ve kuruluş, bir yıl boyunca dönemin Bayındırlık Bakanlığı'na karşılık gelen Nafia Vekâlet'ine bağlanmıştı. 1939 yılında ise Ulaştırma Bakanlığı'na devredilen kurum, 1946 yılında “*Devlet Hava Yolları İşletmesi Genel Müdürlüğü*” adını almıştır (Yalçınkaya, 2019, s. 410). Uluslararası kurallar ve güvenlik yönetmelikleri çerçevesinde devlet eliyle yürütülen havacılık faaliyetleri, 1954 yılında özel hukuk kuralları ile yönetilen bir hava yolu şirketine gereksinim duymuştur. 1955 yılında çıkartılan kanunla hükümete Türk Hava Yolları Anonim Ortaklığı'nı (THYAO) kurma yetkisi verilmiştir. 1 Mart 1956 yılı itibariyle THY resmen faaliyete başlamıştır (Yalçınkaya, 2019, s. 410-411).

Soğuk Savaş Döneminde Türkiye ile Amerika Birleşik Devletleri (ABD) arasındaki siyasi ve iktisadi yaklaşımlar havacılık sektörüne de etki etmiştir. ABD'nin uyguladığı Marshall Planı'na Türkiye'nin de dâhil edilmesiyle 1950-1954 yılları arasında aktarılan kaynak ile İstanbul Yeşilköy, Ankara Esenboğa, Diyarbakır, Van, İzmir, Kars, Elazığ ve Afyon'da bulunan havaalanlarına çeşitli iyileştirmeler ve teçhizat temini yapılmıştır. Plan kapsamında yalnızca havaalanları değil, doğrudan Türk Hava Yolları da faydalanmıştır. 1955–1959 yılları arasında THY'ye ayrılan bütçe sayesinde, uçak filosunda yer alan uçakların yedek parça teminleri gerçekleştirilmiştir. Aynı dönemde, THY bünyesinde görev yapmak üzere Amerikan hava yolu şirketlerinden personel gönderilmiş ve danışmanlık hizmeti sunulmuştur. Bu kapsamda düzenlenen program sonucunda, THY'nin yolcu trafiği ve uçuş sayılarında önemli bir artış gözlemlenmiştir (Yalçınkaya, 2019, s. 412).

Türkiye Cumhuriyeti'nin çok genç bir devlet olması, dünya savaşlarının ve kuruluş sürecinde yaşanan çatışmaların neden olduğu yıkıcı etkiler ile vatandaşların uyum süreci, sosyokültürel değişim ve gelişmeleri göz önünde bulundurulduğunda; Türkiye'nin, havacılık sektöründe aldığı danışmanlıklar ve dış yardımlar sayesinde hızlı bir gelişim gösterdiği görülmektedir. Modern ve çağdaş bir ülke olma yolunda,

uluslararası ilişkiler açısından büyük öneme sahip olan havacılık sektörünün rolünü göz ardı etmek mümkün değildir. Nitekim bu husus Mustafa Kemal Atatürk ve dönemin liderleri tarafından anlaşılmıştır. Havacılığın gelişimine yönelik yürütülen faaliyetler, Türkiye'nin bugün Avrupa ve dünya ülkeleri arasında havacılık alanında öncü konuma gelmesinin temelini oluşturmuştur. Askeri ve sivil havacılık alanlarında yaşanan hızlı gelişmeler, faaliyetlerin emniyetli, güvenli ve uluslararası kurallara uygun bir şekilde yürütülmesini sağlamak amacıyla, devlete ait bir düzenleme ve denetleme teşkilatına duyulan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda kurulan düzenleyici ve denetleyici yapı, bugün de faaliyetlerini sürdüren SHGM olmuştur (Güneri, 2023, s. 61-67).

5.2.2.1. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü

1954 yılında Türkiye'deki havacılık faaliyetlerinin kalite standartlarına uygun, uluslararası kurallara bağlı gerçekleştirilmesi ve ulusal çıkarların korunması amacıyla Ulaştırma Bakanlığı bünyesinde “*Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı*” kurulmuştur. 30 sene boyunca havacılık faaliyetlerini denetleyen Daire Başkanlığı, 1984 yılında yine Ulaştırma Bakanlığı'na bağlı ana birim olarak düzenlenerek “*Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü*” adını almıştır. 2005 yılında çıkartılan 5431 sayılı “*Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun*” çıkarılmıştır. 5431 sayılı kanun sayesinde SHGM finansal açıdan özerkleşmiştir ve bugünkü teşkilat düzeni şeklini almıştır (SHGM, 2006). SHGM, Türkiye'de havacılık alanındaki en yetkili kuruluştur. Ticari, siyasi, askeri, sportif bütün havacılık uygulamalarını ulusal çıkarlar doğrultusunda düzenleme ve denetleme yetkisine sahiptir. Türkiye'nin de üyesi olduğu uluslararası havacılık kuruluşlarının (IATA, ICAO vs.) belirlediği standartlar ve kurallar çerçevesinde Türkiye'nin stratejik konumu, ülke içi düzenlemeleri ve kanunları da göz önüne alınarak oluşturulan kurallar SHGM tarafından hazırlanır ve uygulanır. Havalimanlarının inşası, işletilmesi, gelişimlere ayak uydurarak modernleştirilmesi ise yine SHGM'nin belirlediği standartlar çerçevesinde Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) tarafından gerçekleştirilmektedir (SHGM, 2006).

5.2.2.2. Devlet Hava Meydanları İşletmesi

Türkiye'de havacılık faaliyetlerinin artmasıyla, bu faaliyetlerin devlet eliyle yürütülmesi amacıyla 1933 yılında Hava Yolları Devlet İdare İşletmesi kurulmuştur.

1955 yılında çıkarılan 6623 sayılı Kanun ile uçak işletmeciliği THY'ye devredilmiştir. Ardından, 1956 yılında çıkarılan 6668 sayılı Kanun ile hava limanlarının inşası ve işletilmesi, seyrüsefer cihazlarının kontrolü ile hava trafik kontrol hizmetlerinin yürütülmesi görevleri Devlet Hava Meydanları İşletmesi Umum Müdürlüğü'ne verilmiştir (DHMİ, 2021). Kısıtlı bütçe ile faaliyetlerine devam etmeye çalışan DHMİ, 1983 yılında çıkartılan 116 sayılı Kanun Hükmünde Kararname (KHK) ile faaliyet özerkliğini almış, tüzel kişiliğe sahip Ulaştırma Bakanlığı'na bağlı bir Kamu İktisadi Kuruluşu olmuştur (DHMİ, 2021). Türkiye'deki havalimanlarının işletilmesi, hava trafik kontrol hizmetlerinin yürütülmesi, yer hizmetleri ile havacılık faaliyetlerinin standartlara uygun ve zamanında gerçekleştirilmesi için gerekli tüm cihaz ve sistemlerin kontrolü DHMİ tarafından sağlanmaktadır.

Teknolojik gelişmelerin, endüstriyel devrimlerin ve sonucunda dijitalleşmenin etkilerinin havacılık sektörüne etkileri oldukça güçlüdür. Türkiye de bu etkiler sonucu geliştirilen sistemleri yakından takip etmekte ve uluslararası çetin rekabet koşullarında *“havacılıkta öncü ülke”* konumunda olabilmek için mevcut sistemlerini geliştirme-iyileştirme çalışmalarına önem vermektedir. Bu çalışmalar SHGM eliyle yürütülmekte ve DHMİ tarafından havalimanlarına uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra merkezi Türkiye olmak üzere sektörde hizmet veren onlarca hava yolu şirketleri, yer hizmetleri şirketleri, yan hizmet üreticileri de rekabet koşullarında varlığını sürdürebilmek ve potansiyel müşterilerini kazanabilmek için kendilerini sürekli yenilemektedirler (Güneri, 2023, s. 67-69). Bu değişim ve gelişmelerin sonucunda ortaya çıkan uygulamalar derinlemesine incelenecek olup *“endüstri 4.0”* bağlamında değerlendirilecektir.

6. SİVİL HAVACILIK SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Havacılık sektörü, hızla gelişen yapısı ve küreselleşme sürecindeki stratejik önemi nedeniyle dünya genelinde etkisini hızla yayabilen bir sektördür. Bu nedenle, teknolojik gelişmelerin ve bu gelişmelerin ortaya çıkardığı çıktılarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılması, sektör açısından büyük önem taşımaktadır. Endüstri 4.0'ı oluşturan ve bu süreci tetikleyen teknolojiler, havacılık sektörünün yeniden şekillenmesinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu teknolojilerin sektöre yön verebilmesi, sektörün ihtiyaçlarının doğru analiz edilmesine ve hangi alanlarda hangi çözüm yöntemlerinin etkili olacağını kapsamlı bir şekilde araştırılmasına bağlıdır. Havacılık sektöründeki gelişmeler ve hava yolu şirketlerinin pazarlama stratejilerindeki değişim doğrultusunda, son yıllarda yolcuların havaalanlarından ziyade doğrudan hava yolu şirketleriyle daha güçlü ilişkiler kurduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun temel nedeni, hava yolu şirketlerinin yolcu ihtiyaç ve beklentilerine yönelik olarak geliştirdikleri uçak içi eğlence sistemleri, yolculara sunulan ek hizmetler, genç uçak filoları, çözüm odaklı ekip yapıları, dijital uygulamalar aracılığıyla erişilebilen müşteri hizmetleri ile “*uçtukça kazan*” gibi kampanyalar kapsamında sağlanan indirim, promosyon ve ücretsiz uçuş haklarıdır. Söz konusu uygulamaların tamamı, dijital dönüşümle birlikte gelişen teknolojiler sayesinde ortaya çıkmış ve günümüzde de sürekli olarak geliştirilmeye devam edilmektedir. Yolcularının hava yolu şirketleri ile sıkı bağlar geliştirmesinin hava yollarının sunduğu hizmetler ile mümkün olduğu açıktır. Hava yolu şirketlerinin yolcularına sunduğu yüksek standartlarının muhafaza ederek uçuşlarını güvenle gerçekleştirmesi de operasyonlarını gerçekleştirdiği havaalanlarının gelişmişlik düzeylerine ve iş birliği yaptıkları yer hizmeti şirketlerinin kaliteli ve yolcu memnuniyetine odaklı çalışmalar yürütmesine bağlıdır (Artar & Türkay, 2021, s. 89).

Hava yolu ulaşımı, küresel ağlarla birbirine bağlı, uluslararası otoriteler tarafından denetlenen ve her uçuşun planlanmasından güvenli bir şekilde tamamlanmasına kadar kapsamlı bir ekip çalışması gerektiren bir ulaşım türüdür. Bu nedenle, dijital dönüşümün havacılık sektöründeki etkileri, kelebek etkisi misali, sistemin tüm bileşenlerini etkileyerek sektörde geniş kapsamlı bir dönüşüm sürecini tetiklemektedir. Verilen hizmetler tek bir amaca yöneliktir: Uluslararası standartlara uygun, memnuniyet odaklı ve ayrılan maliyetler çerçevesinde etkin kaynaklar kullanılarak güvenli uçuşlar gerçekleştirmek. Havacılık sektörü bir ekip çalışması gerektirmekte olup, sektörü

oluşturan tüm alt sektörler bu yapının ayrılmaz bir parçasıdır. Havacılıkta dijital dönüşüm iki temel başlık altında ele alınabilir: Hava yolu şirketlerinde dijital dönüşüm ve havalimanlarında dijital dönüşüm. Sektördeki uygulamalar, dijital dönüşümün bileşenlerinin etkin biçimde kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, alt sektörlerdeki uygulamalar incelenmeden önce, dijital dönüşüm bileşenlerinin havacılık sektöründeki kullanım alanlarının ele alınması gerekmektedir.

6.1. Dijital Dönüşüm Bileşenlerinin Sivil Havacılık Sektörüne Etkileri ve Havacılık 4.0 Uygulamaları

6.1.1. Sivil havacılık sektöründe kullanılan yapay zekâ uygulamaları

Havacılık sektörü, gelişme ve iyileştirmelere açık bir sektördür. Çetin rekabet koşulları, sıkı güvenlik uygulamaları ve küresel yapıya sahip olması sektörün yeni iyileştirici uygulamalar kullanmasını zorunlu hale getirmektedir. Havacılık sektörü, yüksek güvenlik gereksinimleri ve giderek karmaşıklaşan operasyonel yapısı nedeniyle dijitalleşmenin etkilerini yakından hissetmektedir. Yapay zekânın sunduğu gelişmeler, çeşitli sektörleri etkilediği gibi havacılık sektörünü de etkilemiştir. Havacılıkta makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi yapay zekâ teknikleri; görüntü, ses ve büyük veri analizini içerir. Akıllı algoritmalar uçuş simülasyonlarında, yakıt verimliliğinde, uçuş rotalarının optimizasyonunda, güvenlik uygulamalarındaki dijitalleşmelerde, büyük veri analizlerinde ve meteorolojik raporlarda kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra havalimanlarını operasyonları ve yönetiminde, hava yolu şirketlerinin müşteri odaklı kişiselleştirme ve iyileştirmelerinde de yapay zekâ uygulamaları kullanılmaktadır (Şahin, 2024, s. 1639).

Havacılıkta yapay zekânın en çok kullanıldığı alan uçak bakım-onarım operasyonlarıdır. Tahmine dayalı uçak bakım süreçlerinde yapay zekâ kullanımı, uçaklardan toplanan sensör verilerini analiz ederek olası arıza ve gecikmelerin önüne geçmektedir. Bu sayede uçakların yerde kalma süreleri kısaltmakta ve gecikmeler azalmaktadır. Aynı zamanda öngörülere dayalı bakım-onarım çalışmalarında uçak parçalarının ömrü tahmin edilerek olası arızaların önüne geçilmektedir (EASA, 2023).

Rota ve uçuş planlamasında kullanılan yapay zekâ teknolojisi; havalimanı kapasitesi, hava durumu ve müşteri talep verilerini analiz ederek uçuş planlamalarını optimize etmektedir. Böylece yakıt verimliliği ve uçak doluluk oranı artarken, genel

operasyonel maliyetler düşürülmektedir. KPMG (2022) çalışmasına göre hava yolu şirketleri, uçuş takvimlerini geleneksel yöntemlerle haftalarca süren çalışmalar yerine yapay zekâ (artificial intelligence-AI) ve makine öğrenimi (machine learning-ML) tabanlı araçlarla hızla optimize edebilmekte; bu da doluluk ve gelir artışı sağlamaktadır. Ayrıca, hava yolu şirketlerinin akıllı mobil uygulamalarından ve müşterilerin internet araştırmalarından elde edilen büyük hacimli veriler, yapay zekâ ile analiz edilerek arz-talep dengesinin sağlanmasına katkı sağlamaktadır. Bu analizler, yeni rotaların belirlenmesinde de önemli bir rol oynamaktadır.

Müşteri memnuniyetinin sağlanması ve yolcu deneyiminin iyileştirilmesi, hava yolu şirketleri için büyük önem taşımaktadır. Uçuş operasyonlarının zamanında ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesinin yanı sıra kesintisiz iletişim, doğru uçuş bilgisi sunumu ve akıllı bagaj takip sistemleri, müşteri memnuniyetini artıran temel faktörler arasında yer almaktadır. Hava yolu şirketleri yapay zekâ teknolojisi kullanılarak geliştirilen sohbet robotları ve sanal asistanlar kullanarak bu gereklilikleri karşılamaktadır. Ayrıca, yapay zekâ teknolojisiyle geliştirilen bilet fiyatlandırma ve rezervasyon algoritmaları, maliyet iyileştirmelerinde ve potansiyel müşterilere erişimde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (İNNOVA, 2023).

Hava trafik yönetiminde de yapay zekâ kullanılmaktadır. ACI World (2025)'ün yayımladığı rapora göre 2030 yılında hava yolu yolcu trafiğinin 12 milyara ulaşacağı öngörülmektedir. Bu nedenle hava trafik kontrol ve havalimanı operasyonları yapay zekâ ile desteklenen otomatik sistemler aracılığıyla güçlendirilmektedir. Uçakların güncel hız, konum ve irtifa bilgilerinin uçuş boyunca yapay zekâ tarafından kontrol merkezine gönderilmesi, trafik yoğunluğunu ve olası gecikmeleri önceden tahmin ederek acil durum senaryolarında hava kontrolörlerine yardımcı olmaktadır. Genel olarak, yapay zekâ havacılıkta bakım, planlama ve yolcu hizmetleri gibi birçok alanda verimliliği artırırken yolcu güvenliğine de katkı sağlamaktadır.

6.1.2. Sivil havacılık sektöründe kullanılan CPS uygulamaları

CPS, bilgi işlem elemanlarının gerçek dünyadaki fiziksel süreçlerle entegrasyonunu sağlayan sistemlerdir. Günümüz havacılık sektöründe uçuş kontrol, navigasyon ve haberleşme gibi fonksiyonlar yazılım tabanlı sistemler aracılığıyla yürütülmektedir. Gelişmiş uçuş kontrol sistemleri; uçuş sürecini iyileştirmek, pilotların iş yükünü azaltmak ve manevra kabiliyetlerini artırarak uçuş güvenliğini sağlamak

amacıyla sensör verileri, otomasyon sistemleri ve algoritmalarından yararlanmaktadır (StartUs Insights, 2025). Havacılık sektöründe kullanılan Performansa Dayalı Seyrüsefer (Performance Based Navigation-PBN) sistemi sektördeki CPS uygulamalarının en iyi örneklerinden biri olarak değerlendirilmektedir. PBN, geleneksel seyrüsefer yardımcıları aracılığıyla sağlanan seyrüsefer hizmetlerinin; uçaklardaki bordo aletleri ile uydu tabanlı teknolojilerin birlikte kullanılması sonucunda dönüşüme uğramasıyla ortaya çıkmıştır (Ünal & Topçu, 2018, s. 38-39). PBN uygulaması kapsamında uçaklar uydu ve veri bağlantıları ile koordine edilerek hedeflenen operasyonel performans sağlanmaktadır. Bu uygulama sayesinde, yoğun terminallerde giriş-çıkış noktalarına ofset noktaları eklenerek gecikmeler azaltılmakta ve terminal kapasitesinin daha verimli kullanılması sağlanmaktadır (Meriç, 2014, s. 6). CPS tabanlı teknolojilerin bir sonucu olarak havacılık altyapısı dönüşmekte; ancak bu dönüşüm, siber güvenlik risklerinin de artmasına neden olmaktadır. Uçaklarda ve havalimanlarında geleneksel olarak kapalı devre çalışan sistemlerin internete bağlanması, fidyeye yazılımları ve diğer siber saldırılara maruz kalma riskini beraberinde getirmektedir. CPS, havacılık operasyonlarını daha akıllı ve otonom hâle getirirken, bu sistemlerin güvenli çalışabilmesi için yüksek düzeyde siber güvenlik önlemleri ve sertifikasyon standartları gerektirmektedir (Jane vd, 2018, s. 86-87).

6.1.3. Sivil havacılık sektöründe kullanılan IoT uygulamaları

IoT, fiziksel nesnelerin internet üzerinden birbirleriyle veri alışverişinde bulunabildiği bir iletişim ağıdır. Bu sistem, haberleşme kanalları aracılığıyla bağlantı kurabilen ve sürekli veri paylaşımı yapabilen cihazların bütününden oluşmaktadır (Meydan, 2023, s. 73). Havacılıkta IoT, hem uçaklarda hem de terminallerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Uçak motorları, iniş takımları, yapısal elemanlar ve diğer bileşenlere entegre edilen IoT sensörleri aracılığıyla sürekli veri toplanmakta; böylece uçak performansı anlık olarak izlenmekte ve kaydedilmektedir. Bu sistem, potansiyel arızaların henüz risk oluşturmadan önce tespit edilmesine olanak tanımaktadır (İNNOVA, 2023).

Havalimanı uygulamalarında IoT teknolojisi, yolcu deneyimini ve işletme verimliliğini iyileştirmektedir. Örneğin, akıllı havaalanlarında yolcu hareketi Wi-Fi ve bluetooth verileri ile izlenebilmekte; böylece yoğun noktalar tespit edilip yönlendirme yapılmaktadır. Ayrıca, Wi-Fi ağına bağlı yolcuların konumları tespit edilerek, uçuşa kabul süreci başladığında kendilerine uyarı mesajları gönderilebilmektedir. Bu uygulama,

operasyonel süreçlerin sağlıklı ve verimli bir şekilde yürütülmesini desteklemeyi amaçlamaktadır (Meydan, 2023, s. 76). Öte yandan, uçak içi hizmetlerde de IoT uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Kabin içi sıcaklık, basınç ve nem gibi sensör verileri, yolcu konforunu artırmak amacıyla analiz edilmektedir. IoT teknolojisi sayesinde havacılık sektörü, fiziksel altyapısını akıllı sensör ağlarıyla donatarak uzaktan izleme, veri toplama ve otomasyon yeteneklerini geliştirmekte; böylece hem emniyet hem de operasyonel verimlilik açısından önemli kazanımlar elde edilmektedir.

6.1.4. Sivil havacılık sektöründe kullanılan robot ve otomasyon sistemleri

Robotlar, belirli görevleri yerine getirmek üzere programlanmış mekanik sistemlerdir. Otomasyon ise bu sistemlerin bazı süreçlerini insan müdahalesini en aza indirerek veya tamamen ortadan kaldırarak otomatikleştirme yöntemidir. Robotik ve otomasyon sistemleri, mekanik işlerin makineler aracılığıyla yapılmasını sağlayan teknolojileri ifade etmektedir. Havacılıkta robotik otomasyon süreçleri, bilet satış ve ücret denetimi için kullanılmaktadır. Örneğin hava yolu şirketleri uçak biletleri acentalar tarafından satışa sunulduktan sonra ücret denetimi yapmak için bağımsız denetim şirketleriyle anlaşmaktadır ancak hizmet sağlayıcılar modern teknolojiyi kullanmayı tercih etmedikleri için bu manuel denetim hizmeti hava yolu şirketlerini tatmin etmemektedir. Denetçilerin rastgele seçtikleri birkaç acentadan veri toplaması veya örnek ücret denetimi yapması sonucunda hizmet verildiği gözlemlenmekte olup, bu uygulamanın verimsiz sonuçlar doğurduğu ifade edilmektedir. Bu nedenle, hava yolu şirketleri ücret denetimi süreçlerinde robotik otomasyon ve veri analitiği tekniklerini kullanmayı tercih etmektedir. Böylece süreçler sıkı bir şekilde takip edilmekte ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır. Robotik otomasyon sistemleri, canlı bir çalışanı sanal ortamda taklit ederek yapılandırılmış görevleri hızlı ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirmektedir (Seçkiner vd., 2021, s. 291).

Robotik ve otomasyon teknolojisinin kullanıldığı bir diğer alan ise uçak üretimidir. Özellikle montaj, boyama, kalite kontrol, lojistik ve kompozit kaplamalar gibi tekrarlı ve yüksek hassasiyet gerektiren işlemlerinde robotik ve otomasyon teknolojileri kullanılmaktadır. Airbus'ın robotik ve otomasyon stratejisinin amacı, sürekli tekrar eden üretim aşamalarının otomasyon sistemleri tarafından gerçekleştirilmesiyle, atölye operatörlerinin daha karmaşık ve katma değerli görevlere odaklanmasını sağlamaktır. Böylece verimlilik en üst düzeye çıkarılmaktadır (Airbus, 2023).

Havalimanlarında yer hizmetlerinde robotik ve otomasyon süreçleri hızla gelişmektedir. Özellikle Covid-19 salgını sırasında, insansız self check-in kioskaları, bagaj etiketleme cihazları, semptom tanıma ve vücut sıcaklığı ölçüm cihazlarının gelişimi önemli ölçüde hızlanmıştır. Günümüzde ise bu robotik ve otomasyon sistemleri kullanılmaya devam etmektedir. Bu teknolojiler sayesinde insan gücüne duyulan ihtiyaç azalmakta ve yoğunluk kontrol altında tutulmaktadır (Seçkiner vd., 2021, s. 293). Özellikle bagaj işlemleri robotik sistemlerle hızlandırılmaktadır. Otomatik konveyör bantları, RFID etiketli valizleri hızlı bir şekilde sınıflandırırken, robotik taşıyıcılar bagajları doğru uçuşa yüklemek veya indirmekle görevlidir. Bu sayede bagaj kaybı riski azaltılmakta ve çalışanların iş yükü hafiflemektedir (Meydan, 2023, s. 73-74). Havacılık sektöründe robot ve otomasyon sistemleri işlemlerin düzenli ve kayıtlı bir şekilde yapılmasını sağlarken, yolcuya zaman tasarrufu sağlamakta; çalışanların iş yükünü hafifletmekte, maliyetleri azaltmaya yardımcı olmakta ve havalimanlarının güvenliğini artırmaktadır.

6.1.5. Sivil havacılık sektöründe kullanılan büyük veri uygulamaları

Büyük veri; hacmi, çeşitliliği ve hızıyla geleneksel veri işleme araçlarının işlemede yetersiz kaldığı devasa, karmaşık veri kümelerini ifade eder (Uladi & Arı, 2023, s. 2). Havacılıkta da uçuş takip kayıtları, bakım raporları, yolcu verileri, hava trafik bilgileri, sensör ölçümleri ve sosyal medya-hava yolu uygulamaları gibi kaynaklardan devasa miktarda veri üretilir. Bu veriler uygun analitik ve yapay zekâ teknikleriyle işlendiğinde öngörüler elde edilir, süreçler otomatikleştirilir ve stratejik kararlar bu veriler ile desteklenir. Sivil havacılık sektörü, zorlu rekabet koşulları altında düşük kâr marjlarıyla milyarlarca dolar kâr elde etmeyi hedefleyen zorlu bir sektördür (Dursun, 2021, s. 7185). Sınırlılıkların iyi yönetilmesi ve stratejik kararların sağlıklı alınabilmesi amacıyla büyük veri teknolojisinden faydalanılmaktadır. Bilet işlemleri, koltuk seçimi, yolcuların destinasyon tercihleri ve seyahat tarihleri, uçuş sıklıkları, ödeme yöntemleri, tercih edilen check-in sistemleri gibi işlemler, paydaşların operasyon yönetimi ile iyileştirme ve geliştirme çalışmalarına yön veren önemli veri kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu veriler yolcuların seçim ve işlemlerinden toplanan verilerdir. Bunun yanı sıra, hava yolu şirketlerinin tercih ettikleri uçaklar ve bu uçakların donanımları, iş birliği yaptıkları yer hizmetleri şirketleri ile yolculara sundukları avantajlar gibi uygulama

verileri de kayıt altına alınmakta ve süreç yönetimi bu veriler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir (Dursun, 2021, s. 7191).

Havacılık sektöründe büyük veri analitiğinin en yaygın kullanıldığı alan, uçak üretimi ve bakım-onarım süreçleridir. Sensörler aracılığıyla uçaklardan anlık olarak toplanan veriler, merkezi bir veri havuzunda depolanmaktadır. Bu veriler ışığında, uçakların bakım zaman çizelgeleri oluşturulmakta, parça ömürleri tahmin edilmekte ve büyük arızalar meydana gelmeden önce önleyici tedbirler alınabilmektedir. Örneğin dünyanın önde gelen uçak üretici firması Airbus, “*dijital ikiz*” merkezinde bir vizyon geliştirmiştir. Bu teknoloji sayesinde tasarım, üretim ve hizmet içi operasyonların verileri entegre edilerek, gerçek dünyadaki karşılığının sürekli ve gerçek zamanlı bir yansıması izlenebilmektedir. “*Uçtan uca dijitalleşme*” felsefesi ile çalışmalarını sürdüren Airbus, yarıntılı 3D modeller ve işlevler kullanarak üretim ve bakım sistemlerindeki tüm bilgileri dijital olarak erişilebilir kılmayı hedeflemektedir (Airbus, 2025).



Şekil 6. 1: Sivil havacılıkta büyük veri kullanım alanları

Kaynak: Techvidvan Team. (2023). Sky is the limit for big data analytics in the aviation industry. TechVidvan: <https://techvidvan.com/tutorials/big-data-aviation/>

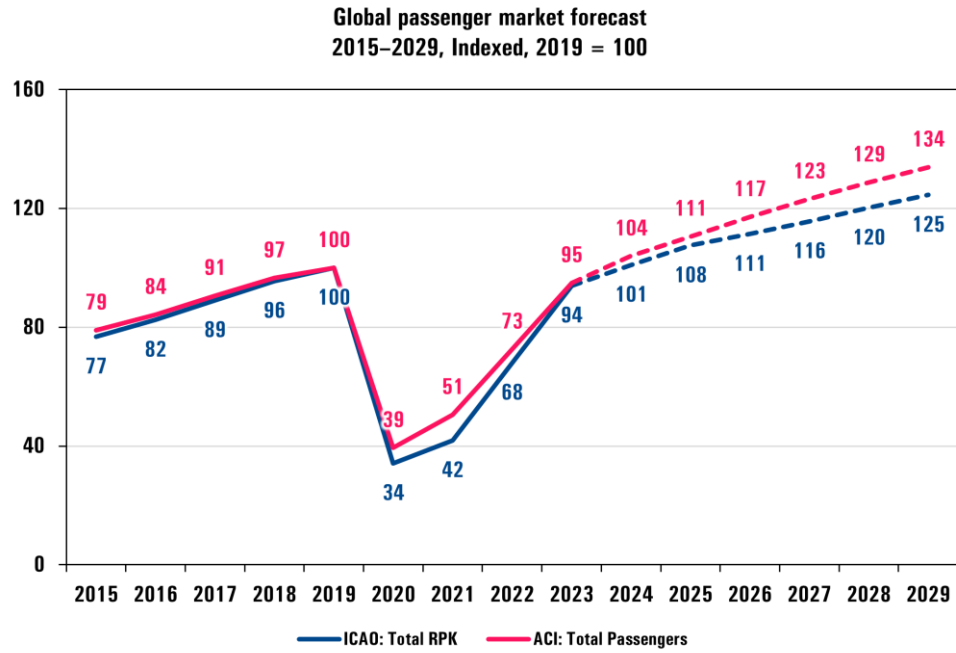
6.1.6. Sivil havacılık sektöründe kullanılan simülasyon teknolojileri

Simülasyon teknolojileri, gerçek sistemlerin veya süreçlerin bilgisayar tabanlı modeller kullanılarak taklit edilmesini kapsamaktadır. Havacılık sektöründe bu kapsam oldukça geniştir: Dijital ikiz, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve uçuş simülatörleri gibi araçlar bu teknoloji ile geliştirilmiştir. Dijital ikiz uygulamalarında toplanan veriler kullanılarak fiziksel nesnelerin ya da sistemlerin sanal ortamda gerçek zamanlı yansıması oluşturulmaktadır. Simülasyon teknolojisi, havacılıkta uçak tasarım sürecinden eğitim, planlama ve operasyon süreçlerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Kuşhan, 2019, s. 18). Uçak ve uçak parçası üretiminde simülasyon teknolojisi, mühendislerin uçak davranışlarını sanal ortamda test etmelerine olanak tanımaktadır. Dijital ikizler, tasarım aşamasında uçağın fiziksel koşullar altındaki performansını çeşitli senaryolar çerçevesinde değerlendirmeyi mümkün kılar. Böylece mühendisler, maliyetli prototipler üretmeden önce tasarım hatalarını tespit edebilir ve doğrulama süresini kısaltabilir. Örneğin, A320 üretim programında 3D dijital modeller kullanılmasıyla kalite sorunları azalmış ve üretim süreçleri hızlanmıştır. Fabrika planlamasında da dijital ikizler kullanılmaktadır; yeni bir montaj hattı veya üretim düzeni, bilgisayar simülasyonlarıyla optimize edilmekte ve bu sayede operasyonel sınırlılıklar önceden tespit edilerek düzeltici önlemler alınabilmektedir (Airbus, 2025).

Havacılık sektöründe kullanılan en yaygın simülatör teknolojisi uçuş simülatörleridir. Modern tam uçuş simülatörleri (full flight simulator-FFS), kokpit görünümü, ses ve hareket platformuyla gerçek bir uçak kokpitine neredeyse birebir benzer bir deneyim sunar. FAA tarafından onaylanan birçok uçuş okulu, profesyonel pilotlar eğitmek ve tekrarlanan eğitimleri vermek için FFS kullanmaktadır (Bernard, 2012, s. 8). Bu sayede pilotlar, farklı uçuş koşullarını, acil durumları ve zorlu iklim şartlarını güvenli bir şekilde deneyimleyerek öğrenebilmektedir. Simülatörlerdeki hareket sistemleri, pilotun hızlanma ve türbülans gibi kuvvetleri hissetmesini sağlayarak, eğitim sırasında gerçek uçuş deneyimlerine karşı hazırlıklı olmasını mümkün kılmaktadır. Simülasyon eğitimi, pilotlar ve ekiplerin uçuş hatalarını pratik yaparak düzeltmelerine olanak tanıyarak, uçak kazalarının önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Hava trafik kontrolörlerinin eğitiminde de simülatörler kullanılmaktadır. Havelsan tarafından geliştirilen “*Havelsan Artemis*” simülasyon sistemi approach, seyir ve kule kontrolör eğitimlerini destekleyerek kontrolörlerin temel seviyeden uzman seviyeye kadar eğitilmesine yardımcı olmaktadır (Havelsan, 2019).

6.2. Havalimanlarının Dijital Dönüşümü

Modern havacılık sektörü hızla büyümekte; yolcu ve kargo sayıları artmaya devam etmekte, dolayısıyla uçuş sıklığı da yükselmektedir. Yeni destinasyonlar ortaya çıkmakta, hava yolu ulaşımına olan talep artmakta ve yeni havalimanları hizmete açılmaktadır. Bu durum, sektörde rekabeti artırmakla birlikte yenilikçi çözümler geliştirme ve modern uygulamalar üretme gereksinimini de beraberinde getirmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (World Health Organization-WHO) Covid-19 pandemisini Mart 2020'de resmi olarak duyurmasının ardından havacılık sektörü seyahat kısıtlamaları ve kitlenmeler sebebi ile önemli ölçüde sekteye uğramıştı. Sektörün tekrar toparlanması uzun zaman almış ve yayımlanan son raporlara göre eski halinden daha iyi bir duruma gelmeye başlamıştır (ACI World, 2025).



Şekil 6.2. 2015-2029 Tahmini küresel yolcu pazarı

Kaynak: ACI World. (28 Ocak 2025). Joint ACI World-ICAO passenger traffic report, trends, and outlook. Montreal, Kanada. <https://aci.aero/2025/01/28/joint-aci-world-icao-passenger-traffic-report-trends-and-outlook/#>

ACI, 2019 yılında yolcu sayısının 9,1 milyar olarak saptamıştı. 2020 pandemi senesinde ise 2019 verilerine göre yolcu trafiği %66 oranında azalmış ve yolcu sayısının 3,6 milyara düştüğü görülmüştür. Pandeminin sektördeki etkilerini silmesi ise neredeyse 4 seneyi bulmuş ve Ocak 2025'te yayımlamış olduğu yolcu trafiği raporuna göre sektör büyüme hızını yeniden kazanmış, 2024 yılında yolcu trafiğinin pandemiden önceki

seviyeleri aşarak hava yolu ile 9,5 milyar yolcu taşındığı saptanmıştır. Rapora göre 2030 yılına gelindiğinde özellikle Asya-Pasifik ve Ortadoğu’da ticaret hacminin genişlemesi ile küresel yolcu trafiğinin 12 milyara, 2042 yılında ise 19,5 milyara ulaşması beklenmektedir (ACI World, 2025). Öngörülerin gerçekleşmesi halinde küresel yolcu trafiğinin iki katını aşacağı görülmektedir. Havalimanlarının mevcut altyapısının bu rakamları kaldırmakta zorluk çekeceği açıktır. Dijitalleşmenin etkisiyle geliştirilen uygulamalar, yolcuların havalimanı içindeki yoğunluğunu önemli ölçüde azaltmaya katkı sağlamaktadır; ancak yeni teknolojilere olan ihtiyaç devam etmektedir.

Artan yolcu sayısı; havalimanlarının trafik yönetimi, güvenlik süreçleri ve yolcu memnuniyeti açısından çeşitli zorluklar doğurmaktadır. Artan operasyon sayılarının en önemli sorunları ise terminal kapasitesinin ve çalışan sayısının yetersizliğidir. Terminal kapasitesi, temel sorunlardan biri olmakla birlikte, yol açtığı zaman ve maliyet kayıpları, müşteri memnuniyetsizliği ve uzun vadede havalimanının temsil ettiği ülkenin küresel prestijinin azalması gibi olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Gelişmiş havalimanları, terminal kapasitesinin etkin kullanımı, güvenlik kontrol noktalarının optimize edilmesi ve uçuşların zamanında gerçekleşmesini sağlamak adına yoğunluk yönetimine yatırım yapmaktadır (Artar & Türkay, 2021, s. 90). Endüstri 4.0 ile beraber hayatımıza dâhil olan dijital dönüşüm süreci havacılık faaliyetlerinin zamanında ve güvenle gerçekleşmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Havacılık faaliyetleri temelde teknoloji üzerine kurulu bir sistem içerisinde gerçekleşmektedir. Uçak üretiminden periyodik uçak bakımlarına, hava trafik kontrollerinden havalimanı yaklaşma usullerine kadar her alanda endüstri 4.0 ile beraber geliştirilmiş dijital uygulamalar (dijital ikiz, simülasyonlar vb.) kullanılmaktadır. Temel uçuş operasyon gereklilikleri havalimanları açısından uçuş ve apron trafiğinin yönetimi ile gerçekleşmektedir. Bu operasyon gereklilikleri doğrudan uluslararası havacılık otoritelerini, havalimanlarını ve hava yolu şirketlerini ilgilendirirken; dolaylı yollardan ise yolcuları etkilemektedir. Uçuş operasyonları sürecinde yolcuları direkt etkileyen unsurlar ise terminal içerisindeki check-in ve pasaport işlem kioskuları, güvenlik kontrolleri, bagaj teslim noktaları, kayıp bagaj büroları, yeme-içme alanları, temel ihtiyaç giderme alanları (lavabolar, ibadet odaları, bebek bakım odaları vb.), araç park alanları, yolcu salonları (lounge) ve alışveriş mağazalarıdır. Bu yolcu hizmetleri, havacılık sektörünün gelişim sürecine katkı sağlamakla birlikte, artan yolcu yoğunluğunun sebeplerinden biri olarak da değerlendirilmektedir. Örneğin uçuşun gerçekleşeceği havalimanının içerisinde yolcuyu tatmin edecek bir alışveriş mağazasının bulunması yolcunun uçuş öncesi havalimanında vakit geçirmesi için bir sebep oluşturmaktadır. Dış

hatlarda uçacak bir yolcunun havalimanına uçuş saatinden 3 saat önce gelmesi yeterliyken yolcu alışveriş yapma amacı ile uçuş saatinden 6 saat önce gelerek vaktini havalimanının içerisinde etkin geçireceğini düşünebilmektedir (Atlay Işık & Tuncer, 2024, s. 262-263). Bu durum havacılık faaliyetleri dışında bir gelir sağlarken aynı zamanda havalimanının içerisindeki yolcu trafiğini artırmaktadır. Havalimanlarındaki yoğunluğun birçok nedeni vardır. Bunların başlıca nedenleri:

- **Artan Yolcu ve Uçuş Trafiği:** ACI World (2025) raporuna göre 2015'ten 2020'ye kadar yolcu sayısında istikrarlı bir artış söz konusuysa Covid-19 pandemisi sebebiyle 2020'de oranlar çok düşmüş fakat pandemi sonrasında toparlanmaya başlamıştır. Günümüz istatistiklerine bakıldığında ise büyüme hızı eski halini yakalamış ve oranlar artmaya devam etmektedir. Bu durum da havalimanlarındaki yoğunluğu artıran birincil sebep sayılmaktadır.
- **Altyapı ve İşletme Karmaşıklığı:** Modern havalimanları artık yalnızca terminal ve pist operasyonlarıyla sınırlı kalmayıp, alışveriş merkezleri, oteller, lojistik merkezler, araç park alanları gibi pek çok farklı hizmeti bünyesinde bulundurmaktadır (Atlay Işık & Tuncer, 2024, s. 262). Bu durum, operasyonel süreçlerin daha karmaşık bir hâl almasına ve daha fazla koordinasyon gerektiren bir yapıya dönüşmesine neden olmaktadır.
- **Operasyonel Aksaklıklar:** Havacılık operasyonları bütün alanlarda kesintisiz bilgi akışı gerektirmektedir. Dijital platformların yetersizliği, bağlantı sorunlarının yaşanması ya da nitelikli personel eksikliği, operasyonların zamanında ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini riske atmaktadır. Operasyonel aksaklıklar uçuş gecikmeleri veya iptalleri ile sonuçlanabilmektedir. Bunların sonucunda hava yolu işletmeleri zarar ederken, havalimanı yoğunluğu artmakta ve kapasite sorunları yaşanmaktadır (Yıldız & Deniz Başarır, 2020, s. 3).

Havalimanı yoğunluğunu kontrol altına almak, kapasitenin etkin bir şekilde değerlendirilebilmesini sağlamak ve operasyonel verimliliği artırmak amacıyla dijital dönüşüm uygulamalarından yararlanılmaktadır. Dijital teknolojilerin kullanımı, yalnızca mevcut sistemlerin optimize edilmesiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda operasyonel süreçlerin yeniden yapılandırılmasını da kapsamaktadır. Günümüzde kullanılan teknolojiler sayesinde, havalimanı altyapısının modernizasyonunda inşa sürecinde başvuru alan dijital uygulamalar, uzun vadede emniyet ve güvenlik açısından öngörüler geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu teknolojilerden en çok öne çıkan ve son

zamanlarda yaygın kullanılan uygulama ise “*Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling-BIM)*” teknolojisidir (Patel, 2025).

6.2.1. Yapı Bilgi Modellemesi

Teknolojinin hız kazanmasıyla ortaya çıkan uygulamalar mimarlık-mühendislik alanlarında da köklü değişikliklere ve iyileştirmelere yol açmıştır. BIM, inşaat projelerinin tasarım ve inşasından işletilmesine kadar bütün süreci kapsayan en dikkat çekici 3D dijitalleşme ürünü olarak ön plana çıkmaktadır. Disiplinler-arası iş birliğini sağlayan bu uygulama, oluşabilecek sorunların inşaa sürecinden önce tespit edilmesine olanak sağlamaktadır (Kömürlü & Üçel, 2022, s. 10). Özellikle mega projelerde tercih edilen bu modelleme sisteminin olası sorunları önceden tespit etmesinin en büyük avantajlarından biri de mevcut sorunu inşaa sürecinden önce çözülmesine olanak sağlamasıyla beraber binanın işletimi sırasında ortaya çıkabilecek sorunun kaynağını da belli etmesidir. BIM, fiziksel ve fonksiyonel özellikleri içererek projelerin tasarım, inşaat ve işletme süreçlerini bütünsel açıyla dijital ortamda yönetmeyi sağlamakta yani bilgi yönetimi destekli bir yaklaşıma sahiptir. Yapının modellemesinden işletme sürecinin sonuna kadar fizibilite, planlama ve geliştirme aşamalarında tesisin altyapısı, mevcut durumu ve kapasitesi hakkında bilgi üretir ve analizler yapar. Tesis ve sistemlerin performansını değerlendirmede ve işletim süreci boyunca altyapıya uygun yeni plan ve projeler geliştirmede bütüncül bir yaklaşım benimsemekte; gerekli tüm bilgileri dijital ortamda tutarak sürekli güncellemektedir (Keskin vd., 2019, s.882).

Havalimanları, hizmet çeşitliliği bakımından bünyesinde farklı altyapı sistemlerini barındıran karmaşık bir yapıya sahiptir. Pistler, taksi yolları, demiryolları, yolcu ve kargo alanları, uçak bakım hangarları, araç otoparkları gibi çeşitli alanları kapsamaktadır (Keskin, 2019). Bu hizmet alanlarının havalimanı içerisinde başarıyla işletilmesi de altyapı gereksinimlerinin karşılanması ve doğru planlamalarının yapılmasıyla mümkündür. BIM teknolojisi havalimanı projelerinin karmaşık yapısının planlanması ve yönetilmesi için kolaylaştırıcı bir rol üstlenmektedir. Teknik açıdan sağladığı avantajların yanı sıra işletim süreci boyunca havalimanı yönetimine sürekli ve güncel bilgi akışını sağlaması da süreçlerin sağlıklı işlemlerini kolaylaştırmaktadır. Günümüzde plan proje çiziminden itibaren inşaa sürecine dâhil olan BIM teknolojisi, uygulama gelişmeden önce inşaa edilen onlarca yıllık yapıların iyileştirmelerinde de kullanılmaktadır. Bu iyileştirmelere en çarpıcı örnek, 1932 yılında inşaa edilen Tokyo

Haneda Havalimanı'nda görülmektedir. 2015 yılında, BIM teknolojisi kullanılarak havalimanının eski mimari çizimleri günümüz teknolojisiyle entegre edilmiştir. Oluşturulan yeni üç boyutlu uygulama bugün tesis yönetiminde kullanılmaktadır. Tesis yönetimi özellikle uluslararası havalimanları gibi karmaşık ve yoğunlukta hizmet veren yapılar için hayati bir öneme sahiptir (BIM Teknoloji, 2019b).

Türkiye'de BIM uygulamasının en önemli örneklerinden biri de İGA projesidir. İGA “*sürdürülebilir dijital süreçlerimiz*” başlığı ile proje sürecinden itibaren kullandığı BIM teknolojisini ön plana çıkarmıştır (İGA, 2020). Yıllık 90 milyon yolcu kapasitesine ve 1 milyon 400 bin metrekarelik ana terminal binasına sahip İGA, jeopolitik konumu gereği uluslararası bağlantı merkez havalimanlarından biridir. Havalimanının inşası dünya standartlarında rekor sayılacak bir hızla 42 ayda tamamlanmıştır. Bu süreçte kalite güvence ve kalite kontrol, metrajın çıkartılması, planlama ve proje kontrolü, enerji analizi, işletmeye alma ve tesis yönetimi için BIM fonksiyonlarından yararlanılmıştır (Kömürlü & Üçel, 2022, s. 19).

Günümüzde “*akıllı havalimanları*” olarak nitelendirilen havalimanlarında kullanılan bir diğer dijital dönüşüm uygulaması *Gelişmiş Yer Hareketleri Rehberlik ve Kontrol Sistemi'dir (Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems\A-SMGCS)*. Bu sistem sayesinde uçak ve yer araçları operasyonları kontrollü bir şekilde ilerlemektedir.

6.2.2. Gelişmiş Yer hareketleri Rehberlik ve Kontrol Sistemi

Havalimanları, operasyonel faaliyetlerin yoğunluğu ve sirkülasyonun fazla olması sebebiyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Hava trafik yönetiminin yanı sıra pistlerdeki yer trafiğinin yönetimi de kritik unsurlardandır. Özellikle pist faaliyetlerinin emniyetle gerçekleştirilmesi kritik bir önem taşımaktadır. Basit planlama ve denetleme hataları geri dönülemez kazalarla sonuçlanabilmektedir. Bu bağlamda, gelişmiş hava trafik yönetim sistemleri arasında yer alan A-SMGCS, havalimanlarının kara yüzeyinde gerçekleştirilen uçak hareketlerini izleme, yönlendirme ve yönetme amacıyla tasarlanmış ileri seviye bir teknolojidir (EUROCONTROL, 2020). A-SMGCS, hava tarafı operasyonlarında dört seviye hizmet içermektedir:

- **Gözetim (Seviye 1):** Sistem hava araçlarının ve hava tarafındaki kara araçlarının konumlarını izler, takip eder. İzleme ve konum bildirme fonksiyonlarına sahiptir (ICAO, 2004, s. E-1).

- **Emniyet (Seviye 2):** Gözetim hizmetine ek olarak olası çarpışma ve tehlike anında yetkililere uyarı gönderir. Örneğin follow me aracı ile uçak riskli bir şekilde yakınsa, sistem hemen pilotlara veya yer ekiplerine uyarı ileterek önlem alınmasını sağlar (ICAO, 2004, s. E1-2).
- **Yönlendirme (Seviye 3):** Hava araçlarına ve kara taşıtlarına hareket yönü ve takibi konusunda kılavuzluk eder. Uçaklar kalkış veya inişi sırasında, bu sistem tarafından doğru pist giriş veya çıkış noktalarına yönlendirilir (ICAO, 2004, s. E-2).
- **Rehberlik (Seviye 4):** Sistem, uçak ve araç hareketlerinin tamamını yönetir ve optimize eder. Pilotların ve kara araç sürücülerinin onlara tahsis edilen yolu takip etmelerini sağlar. Yoğun saatlerde sistem, uçakların en uygun piste inişi veya kalkışı için otomatik rotalar belirler ve trafik kilitlenmelerinin önüne geçer (ICAO, 2004, s. E-3).

Modern havalimanı işletmeciliği ve hava trafik yönetimi, artan yolcu ve yük hacmi nedeniyle karmaşık ve entegre bir yönetim sistemine ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda *Havaalanı Operasyon Kontrol Merkezi (AOCC - Airport Operations Control Center)*, havalimanı operasyonlarının merkezi bir noktadan yönetilmesi ve koordine edilmesi amacıyla geliştirilmiş kritik bir yapıdır. Son teknoloji cihazlarla donatılmış bu merkez sayesinde havalimanının çeşitli departmanlarından alınan veriler tek bir merkezde toplanmaktadır (Avcit, 2023).

6.2.3. Havaalanı Operasyon Kontrol Merkezi

AOCC, havalimanındaki çeşitli operasyonların tek bir merkezden eş zamanlı kontrol ve denetiminin yürütüldüğü koordinasyon merkezidir. Amaç, havalimanı içerisindeki tüm operasyonların (terminal yönetimi, apron yönetimi, hava tarafına ilişkin operasyonlar, güvenlik, bakım ve teknik servisler) etkin, uyumlu ve güvenli bir şekilde yürütülmesini sağlamaktır. Havalimanındaki karmaşık yapının içinde, günlük dinamik zorlukların yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır (Avcit, 2023). AOCC, genellikle gelişmiş iletişim teknolojileri, gerçek zamanlı veri yönetimi ve analiz araçlarıyla donatılmıştır. Bu merkez, havalimanı ekibi, dış paydaşlar ve hava trafik kontrolü ile işbirliği içinde çalışmaktadır. Hava durumunun havacılık faaliyetlerinde kritik bir yeri vardır. Beklenmeyen bir hava muhalefeti bütün operasyonların aksamasına ve büyük bir krizin çıkmasına sebep olabilmektedir. AOCC, hava durumunu sürekli izler. Gök gürültüsü, yoğun sis, fırtına vb. potansiyel hava muhalefetlerini ön görerek AOCC acil

durum planları geliştirir, gerektiği takdirde uçakları yönlendirir ve yeni güvenlik tedbirleri alır (Avcit, 2023).

AOCC, uzman bir yöneticinin altında oluşan alanında profesyonel ekiplerden oluşmaktadır. Her bir ekip farklı görev ve tanım taşır fakat amaç ortaktır: İş birliği içerisinde çalışarak operasyonda yaşanması muhtemel ya da yaşanan aksaklıkların etkilerini minimum seviyede tutarak nihai sonuca başarıyla ulaşılmasını desteklemek. AOCC sistemleri, havalimanı çalışan ve paydaşlarına koordinasyon, raporlama ve analiz çalışmaları için güncel bilgileri iletmek üzere veri entegrasyonu sağlamaktadır (TAV Technologies, 2025). Bu kontrol merkezinin; operasyonel koordinasyon, gerçek zamanlı izleme ve karar alma, acil durum yönetimi, veri analizi-raporlama ve performans analizi yaparak sürekli iyileştirme planları yapmak gibi birden çok işlevi vardır (Pandey, 2024, s. 9). AOCC'nin birçok temel işlevi vardır:

- Farklı operasyon hizmet sistemlerinden ve sensörlerden toplanan verileri merkezi bir platformda toplayarak entegre veri yönetimini sağlamaktadır.
- Operasyonların yapı taşı rolünü üstlenmektedir. Bu sebeple 7/24 aktif bir merkezdir ve krizlere anında yanıt vermektedir. Anlık olaylara ve potansiyel tehlikelere hızlı reaksiyon vermektedir (Avcit, 2023).
- Hava yolu şirketleri, yer hizmetleri, gümrük-güvenlik departmanları ve havaalanı yönetimi gibi operasyonlarda sorumluluğu bulunan paydaşlar arasında kesintisiz iletişim ve koordinasyon merkezi hizmeti vererek iş birliği ve iletişim platformu rolünü üstlenir.
- Acil ve beklenmedik durumlarda risk yönetimini üstlenir. Verileri yönetir, ilgili yetkililere iletişim ve koordinasyon sağlar ve acil durum prosedürlerini uygular.
- Sürekli veri analizi ve performans değerlendirmesi yaparak iyileştirmeler geliştirir. Operasyon optimizasyonu için yeni stratejiler uygular. AOCC, yüksek teknoloji ile donatılmış bir alanda çalışmalarını yürütmektedir. Donanımlı ve yüksek çözünürlüğe sahip video duvar kontrol sistemi, havaalanı yönetimine yönelik tüm uygulama setleri (A-CDM, AODB, RMS, FIDS, vb.), IP çoklu ekran denetleyicileri (TAV Technologies, 2025) gibi son teknoloji sistemler aracılığı ile optimizasyonun gerektiği alanlar belirlenir ve doğru strateji oluşturulur (Avcit, 2023).

6.2.4. Dijital ikiz ile havalimanı yönetimi

Dijital ikiz, fiziksel nesnelerin bütün yönleri ile sanal ortamdaki yansıması ve aralarındaki bağlantıdır. Bu bağlantı karşılıklıdır ve nesneler arası anlık veri iletimine olanak sağlamaktadır. Bu sayede fiziksel nesnede beklenmedik bir davranış meydana gelmeden dijital ikizinde gözlemlenebilmekte ve bu doğrultuda aksiyon alınabilmektedir (Nacak, 2024, s. 58-59). Havacılık sektöründe dijital ikiz uygulamaları genellikle uçak üretim, bakım ve onarım alanında ön plana çıkmaktadır fakat özellikle yoğunluğun artmasıyla ve karmaşık yapısı sebebi ile havalimanı yönetiminde de tercih edilen bir uygulama haline gelmiştir. Çalışma içerisinde de bahsedildiği üzere havaalanlarının inşaa sürecinde kullanılan BIM uygulaması, havalimanının bütün fonksiyonlarını, inşaat ve mimari yapısını dijital araçlardan eş zamanlı takibini sağlayan, temelinde bir dijital ikiz uygulamasıdır (BIM Teknoloji, 2019a).

Dijital ikiz teknolojisi, havalimanlarının sanal bir kopyasını oluşturarak operasyonların yönetimine, güvenlik uygulamalarının maksimize edilmesine ve yolcu deneyimlerinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu teknoloji sayesinde havalimanı verileri eş zamanlı izlenebilmekte, olası problemler karşısında erken müdahalelerde bulunarak risk yönetimi gerçekleştirilmektedir. Küçük aksaklıkların bile büyük maddi kayıplarla sonuçlandığı bu sektörde, dijital ikiz teknolojisinin sunduğu imkânların nitelikli çalışanlar tarafından etkin kullanılması operasyonların sorunsuz ve verimli gerçekleştirilmesinde kritik bir rolü vardır.

Havalimanlarının, yapısı ve 7/24 hizmette olması sebebi ile enerji tüketimi ve karbon emisyonu çok yüksektir. Enerji verimliliği ve sürdürülebilir havacılık faaliyetleri üzerinde çalışmalar devam ederken dijital ikiz uygulamaları enerji verimliliğini artırmak için yenilikçi çözümler sunmaktadır. Akıllı enerji yönetim sistemleri sayesinde havalimanındaki enerji tüketimi optimize edilebilmektedir (SAMPAS, 2025). Örneğin yolcu akışının olduğu salonların aydınlatma ve havalandırma fonksiyonları çalışırken, yolcu akışının olmadığı kullanılmayan salon ve alanların bu fonksiyonları alan kullanılmaya başlayana kadar otomatik devre dışı bırakılarak enerji tüketimi optimize ediliyor.

Havacılık, yüksek güvenlik önlemleri gerektiren bir sektördür. Söz konusu güvenlik sadece yolcular açısından değil ulusal açıdan da büyük öneme sahiptir. İnsan ve yük sirkülasyonunun durmaksızın devam ettiği havalimanlarını sürekli emniyette tutmak oldukça güç olmasına karşın zaruridir. Güvenlik açığının yaşandığı uçuşların nihayetle

büyük karmaşa ve kayıplarla sonuçlandığına dair tarihte örnekler bulunmaktadır. Havalimanlarında kullanılan yüksek teknolojiye sahip x-ray cihazları, ulusal güvenliklerin aldığı önlemler ve geliştirdikleri arama-tarama uygulamaları oldukça etkin olmasına karşın yetersizdir. Dijital ikiz teknolojisi, güvenliğin maksimize edilmesinde yardımcı uygulamalar sunmaktadır. Bu sanal kopya sayesinde güvenlik kameralarından elde edilen veriler analiz edilerek şüpheli kişi ve durumlar tespit edilebilmekte ve bu doğrultuda tedbirler alınabilmektedir (BIM Teknoloji, 2019a).

6.3. Hava Yolu Şirketlerinde Dijital Dönüşüm

Dijitalleşmenin hayatımıza etkileri artıkça işletmelerin iş ve işlemlerinin dijital kanallar aracılığı ile yürütülmesi de kaçınılmaz olmaktadır. Dijitalleşme, veri bağlantı hızı, hızlı geri dönütler, bilgi-işlemlerin düzenli ve eksiksiz kayıtlara geçmesi, koordinasyon ve takip kolaylığı gibi birçok avantajla ön plana çıkmaktadır. Güncel işletmeler pazarlama, tedarik, müşteri-tedarikçi-iş ortağı ilişkileri, finans, insan kaynakları gibi bütün temel fonksiyonlarında dijital uygulamalara başvurmaktadır. Hava yolu işletmeleri de diğer işletmeler gibi temel fonksiyonlarının yürütülmesinde dijitalleşmeyi etkin kullanırken ayrıca uçak bakım-planlama, operasyon, hava trafik optimizasyonu ve yer hizmetleri gibi havacılığa özgü alanlarda da dijital uygulamalara sıkça başvurmaktadır (Meydan, 2023, s. 66). Yüksek maliyetler, maksimum emniyet ve güvenlik gereklilikleri, müşteri memnuniyetinin önemi ve zorlu küresel rekabet koşulları, sektörde tutunmayı zorlaştırırken dijitalleşmenin sağladığı avantajların verimli kullanılması, hava yolu işletmelerinin karlılığını artırmakta ve sektörde ön plana çıkmasına olanak sağlamaktadır. Hava yolu işletmeleri, teknolojik gelişmeleri yakından takip ederken aynı zamanda Ar-Ge çalışmaları ile sektörün ve işletmenin ihtiyaçlarına yönelik yeni dijital uygulamalar geliştirmekte, süreçleri iyileştirmektedir.

6.3.1. Self-servis hizmetler

Self-servis hizmetler, yolcuların herhangi bir çalışan yardımına ihtiyaç duymadan, dijitalleşmenin sunduğu ürünler aracılığıyla uçuşlarıyla ilgili hizmetleri almasını sağlayan kolaylaştırıcı uygulamalardır. Bu hizmetler sayesinde yolcu işlemleri hızlanırken, çalışan sayısı azalmakta ve dolayısıyla hava yolu şirketlerinin operasyonlarda aldığı ek yer hizmetleri maliyeti düşmektedir. Yoğunluğun, ekstrem

durumlar dışında (pandemi, savaş vb.) sürekli olduğu havalimanlarında, bu dijitalleşme ürünleri havalimanı, hava yolu şirketleri ve yer hizmetleri şirketleri için büyük kolaylık sağlamaktadır. Hava yolu şirketleri sektörün zorlayıcı rekabet koşulları ve karlılığın düşük olması sebebiyle maliyet düşürücü gelişmeleri yakından takip etmektedir. Self-servis hizmetler de bu maliyet düşürücü uygulamaların başında gelmektedir (Gümüş vd., 2021, s. 250). Self-servis hizmetler bünyesinde birçok işlem bulundurmaktadır:

6.3.1.1. Kiosk check-in/self check-in

Yolcuların, geleneksel biletleme işlemlerine nazaran daha az zaman kaybı yaşadıkları neredeyse sıra beklemediği check-in hizmetlerini veren kiosklardır. Bu kiosklar sayesinde yolcular aksi bir durumla karşılaşmadıkları sürece çalışan yardımına ihtiyaç duymadan biniş kartlarını bastırabilmekte veya kare kod alabilmektedir. Ayrıca, ek hizmetlerden yararlanmak isteyen yolcular, kredi kartları ile bu kiosklar üzerinden istedikleri hizmeti satın alabilmektedir (Gümüş vd., 2021, s. 240). 2024 yılında açılan Çukurova Havalimanı dâhil Türkiye’de sivil yolcu trafiğine açık 37’si uluslararası toplam 58 havalimanı bulunmaktadır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Bu havalimanları arasında en aktif olanları İGA, Sabiha Gökçen Havalimanı, İzmir Adnan Menderes Havalimanı, Ankara Havalimanı, Antalya Havalimanı ve Muğla Havalimanı olup, Türkiye menşeli tüm havayollarının check-in kioskları bu havalimanlarında bulunmaktadır. Hava yolu şirketleri bu yöntemi seçerek yoğunluktan kaynaklı operasyonel aksaklıkların önüne geçmekle beraber yolculara sunduğu bu alternatif dijital yöntem ile rekabet avantajı sağlamaktadır (Pegasus, 2025; Turkish Airlines, 2025; Sunexpress, 2025).

6.3.1.2. Mobil biniş kartı (barkod)

Mobil biniş kartı, bagajı bulunmayan yolculara yönelik hızlı geçiş hakkı sağlayan bir uygulamadır. Uçak bileti satın alma işlemini tamamlayan yolcular taraflarına iletilen PNR (rezervasyon kodu) ve kimlik bilgilerini ilgili hava yollarının mobil uygulamasından veya web sitesinden girerek mobil biniş kartına ulaşmaktadırlar. Mobil biniş kartında bulunan kare kod sayesinde hiçbir belge, bilet vs. ihtiyaç duymadan ilgili kare kodu uçuş görevlilerine okutarak yolculuklarını gerçekleştirmektedirler. Bu sayede yolcular zamandan tasarruf ederken havalimanı yönetiminin yoğunluk kontrolü kolaylaşmaktadır.

Bu uygulama Türkiye’de bulunan neredeyse bütün havalimanları bu uygulamayı kullanacak altyapı ve nitelikli çalışanlara sahiptir. Ayrıca Türkiye menşeli bütün hava yolu şirketleri bu dijital dönüşümü gerçekleştirmiş ve kendi uygulamalarını geliştirmiştir (Pegasus, 2025; Turkish Airlines, 2025; AJET, 2025; Sunexpress, 2025).

6.3.1.3. Express bagaj hizmeti

Havalimanlarında geleneksel yöntemlerle yapılan bagaj teslimi, uçuş öncesinde en çok zaman kaybettiren işlemlerden biridir. Geleneksel bagaj işlemlerinde, check-in kontuarlarında görevli personel tarafından bagajın kilo, boyut ve hasar kontrolleri yapılmaktadır. Bagaj standartları karşılamadığı takdirde işlemler uzamakta ve yolcular için rahatsız edici bir süreç yaşanmaktadır. Türkiye’de Pegasus Hava Yolları tarafından geliştirilen ve uygulamaya konulan bu hizmet sayesinde, Pegasus yolcuları çipli kimlik kartı, kare kod veya pasaport bilgileri okutularak, çalışan yardımına ihtiyaç duymadan express bagaj cihazlarından bagajlarını teslim edebilmektedir. Uygulama, iki parça bagaja kadar kullanılabilir. Yolcu, bu cihazlara bagajını yerleştirerek bagaj etiketine erişebilmektedir. Bagajlar, verilen etiket yapıştırılarak yine çalışan yardımına ihtiyaç duyulmadan bagaj bandına yerleştirilerek uçak altına gönderilmektedir. Yolcunun bagajının kilo kuralını aşması halinde yine aynı cihaz üzerinden kilo ücreti kredi kartı ile ödenebilmektedir (Gümüş vd., 2021, s. 241). Bu uygulamanın bir diğer avantajı ise eğer yolcu arındırılmış salona geçerken kabine alınması yasak herhangi bir madde, sıvı vs. ile güvenlik kontrolünden geçemediyse ve kapıların kapanmasına daha zaman varsa yolcu yine bu cihazlardan kabin bagajını da uçak altına gönderebilmektedir. Bu sayede yolcu kabine alamadığı eşya/eşyalarını çöpe atmaktan kurtulmakta ve keyifsiz bir deneyim önlenerek yolcu memnuniyeti sağlanmaktadır.

6.3.1.4. Çipli kimlik kartı ile uçuş deneyimi

Yeni nesil kimlik kartlarının içindeki çip ve biyometrik veriler (yüz tanıma veya parmak izi) sayesinde, sınır geçişleri ve havalimanı güvenlik kontrolleri, geleneksel belgelere kıyasla çok daha hızlı ve güvenli hale gelmektedir. Böylece kimlik ve belge doğrulama işlemleri, el tipi bileklikler veya biyometrik okuma cihazları aracılığıyla anlık olarak gerçekleştirilebilmektedir. Check-in işlemlerinde ise, elektronik veya otomatik kiosklarda kimlik okutmaya gerek kalmadan, yüz tanıma veya çip okuyucularıyla hızlı

giriş sağlanmaktadır. Böylece uçağa geçiş süresi kısaltmakta, yolcular teferruatlı süreçlerden muaf olmakta ve uçak kapıları zamanında kapanmaktadır. Yolcu tarafında memnuniyet sağlanırken şirket tarafında da verimlilik artmaktadır (Gümüş vd., 2021, s. 243).

6.3.2. Akıllı seyahat asistanı teknolojisi

Seyahat asistanı; blok zincir teknolojisi kullanılarak geliştirilmiş, yolculara seyahat öncesi ve süresince faydalı ve güncel bilgileri ileten bir uygulamadır. Blok zincir, dijital ve merkezi olmayan bir kayıt tutma teknolojisidir. Bu teknoloji, verilerin güvenli, şeffaf ve değiştirilemez bir şekilde saklanması sağlamaktadır (Ünal & Uluyol, 2020, s. 168). Havalimanı yönetimi ve hava yolları şirketi blok zincir sistemi üzerinden karşılıklı veri paylaşımı gerçekleştirmektedir. Türkiye’de bu uygulamayı aktif ve etkin kullanan hava yolu şirketi Pegasus Hava Yolları’dır. 2023 yılında hayata geçirilen bu uygulama sayesinde aynı blok zincir altyapısı üzerinden yolculara bilgi aktarımı sağlanıyor. Havalimanı kontrolünde olan işlemlerin (bagaj bant numarası, kapı numarası vs.) bilgileri anlık mesajlar ile yolculara iletiliyor (Pegasus, 2023).

Yolcu işlemlerini tamamlayıp, arındırılmış salona geçerken güvenlik sisteminde okutulan bilet, kare kod vs. kayıt altına alınarak blok zincire otomatik veri girişi sağlanmaktadır. Şayet yolcu, güvenlik noktasından geçtikten sonra uçağa binmemişse zaman kaybı yaşanmadan veriler aracılığı ile tespit edilmekte ve yolcuya uyarı mesajı gönderilmektedir. Bu sayede yolcunun uçağı kaçırmaması ve operasyonel aksaklıklar önlenmektedir. Sistemin alt yapısını güçlendirerek daha kapsamlı hale getirmeyi amaçlayan Pegasus, yolculara gidecekleri havalimanı için kullanacakları yolun trafik durumunu, seyahatin gerçekleşeceği şehrin hava durumunu vb. bilgileri de SMS yolu ile iletmektedir. Bu sayede yolcuların şirketi süreç boyunca yanında hissedeceği ve müşteri memnuniyetinin artacağı ön görülmektedir (Gümüş vd., 2021, s.243).

6.3.3. Dijital apron

Dijital apron; havalimanı apron yönetimini ve operasyonlarını optimize etmek amacıyla kullanılan, dijital ve akıllı teknolojilerle donatılmış bir sistemdir. Bu sistem sayesinde apron üzerindeki tüm hareketler, araçlar, uçaklar ve personel çok daha etkin, güvenli ve verimli şekilde yönetilmektedir. Yapay zekâ ve IoT teknolojileri kullanılarak

hayata geçirilen dijital apron sayesinde, uçakların yakıt ikmali, yükleme-boşaltma ve güç kaynaklarına ilişkin tüm apron aktiviteleri gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir. Ayrıca RFID, sensörler ve GPS teknolojileri aracılığıyla uçak ve apron araçlarının konumları sürekli izlenmektedir (Gümüş vd., 2021, s.244).

Yolcuların, uçağın tekerleği piste değdiği andan itibaren uçaktan inip bagajlarını almak için sabırsızlandıkları aşikârdır. Bu durum; uçakta geçirilen sürenin zaman kaybı olarak algılanması, yolculuk boyunca yüksek kabin basıncına maruz kalmaları ve uçak kabinlerinin dar olması gibi çeşitli etkenlerden kaynaklanmaktadır. Dijital apron teknolojisi, operasyonların hızlı ve güvenilir şekilde gerçekleştirilmesini amaçlayarak bu süreyi en aza indirmeyi hedeflemektedir. Böylece hem yolcuların uçakta geçirdiği süre hem de uçağın yerde kalma süresi azaltılmaktadır. Bu durum yolcu memnuniyetini artırırken, hava yolu şirketlerinin de operasyonel maliyetlerini düşürmelerine katkı sağlamaktadır (Gümüş vd., 2021, s. 244).

6.4.Türkiye Menşeli Hava Yolu Şirketlerinin Yurt İçi Havalimanlarındaki Dijital Check-in Uygunlukları

Türkiye’de hava yolu taşımacılığı, dijital dönüşüm sürecinden doğrudan etkilenmektedir. Özellikle mobil ve kiosk check-in hizmetleri; yolcu deneyimini geliştiren, işlem sürelerini kısaltan ve havalimanlarındaki yoğunluğu azaltan yenilikler olarak öne çıkmaktadır. Aşağıdaki tablo, Türkiye menşeli hava yolu şirketlerinin (Pegasus, AJet ve THY) yurt içi havalimanlarında hizmet verdikleri dijital check-in uygulamalarını göstermektedir. Tabloda Türkiye’de aktif olarak hizmet veren 53 havalimanı baz alınmıştır. Dijital check-in, yolcuların havalimanına gitmeden önce internetten veya havalimanına vardıklarında bu işlem için kullanılan otomatik cihazlardan check-in işlemlerini hızlı bir şekilde tamamlamasını sağlamaktadır. Bu hizmetin karşılaştırmalı verilerinin yer aldığı tablo aşağıda yer almaktadır. Tabloda kullanılan işaretler ve işaretlerin karşıladığı ifadeler şunlardır:

- ✓ : İlgili havalimanında söz konusu hava yolu için check-in hizmeti mevcuttur.
- × : Mobil veya kiosk check-in hizmeti bulunmamaktadır.
- : Havalimanında o hava yolu şirketi faaliyet göstermemektedir.

Bu bağlamda tablo, hem mobil check-in hem de kiosk check-in açısından üç büyük hava yolunun mevcut durumunu karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.

Tablo 6.1. Türkiye menşeli hava yolu şirketlerinin mobil check-in ve kiosk check-in hizmetlerinin havalimanlarındaki durumu (Pegasus, 2025; Turkish Airlines, 2025; AJET, 2025)

	<u>MOBİL CHECK-İN</u>			<u>KIOSK CHECK-İN</u>		
<u>HAVALİMANLARI</u>	Pegasus	AJet	THY	Pegasus	AJet	THY
Adıyaman Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Ağrı Havalimanı	×	✓	✓	×	×	×
Amasya Merzifon Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Ankara Esenboğa Havalimanı	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Antalya Havalimanı	✓	✓	✓	✓	×	✓
Gazipaşa Alanya Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Balıkesir Edremit Koca Seyit Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓
Batman Havalimanı	✓	×	✓	×	×	×
Bingöl Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Bursa Yenişehir Havalimanı	-	-	✓	-	-	×
Çanakkale Havalimanı	-	✓	✓	-	×	×
Çukurova Uluslararası Havalimanı	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Denizli Çardak Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓
Diyarbakır Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓
Elazığ Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Erzincan Yıldırım Akbulut Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓
Erzurum Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓
Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı	-	-	✓	-	-	×
Gaziantep Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓

Hakkâri Yüksekova Havalimanı	-	-	✓	-	-	×
Hatay Havalimanı	-	✓	✓	-	×	✓
İğdır Şehit Bülent Aydın Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
İsparta Süleyman Demirel Havalimanı	-	-	✓	-	-	×
İstanbul Havalimanı	✓	-	✓	✓	-	✓
İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	✓	✓	✓	✓	✓	✓
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kahramanmaraş Havalimanı	-	✓	✓	-	×	×
Kars Harakani Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Kastamonu Havalimanı	-	-	✓	-	-	×
Kayseri Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓
Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı	-	-	✓	-	-	×
Konya Havalimanı	✓	✓	✓	✓	×	✓
Kütahya Zafer Bölgesel Havalimanı	✓	-	✓	×	-	×
Malatya Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Mardin Prof. Dr. Aziz Sancar Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Muğla Bodrum Milas Havalimanı	✓	✓	✓	✓	×	✓
Muğla Dalaman Havalimanı	✓	✓	✓	✓	×	✓
Muş Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Nevşehir Kapadokya Havalimanı	-	✓	✓	-	×	×
Ordu-Giresun Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓
Rize Artvin Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓

Samsun Çarşamba Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓
Siirt Havalimanı	-	✓	✓	-	×	×
Sinop Havalimanı	✓	-	✓	×	-	×
Sivas Nuri Demirağ Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Şanlıurfa GAP Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	×
Şırnak Şerafettin Elçi Havalimanı	-	✓	✓	-	×	×
Tekirdağ Çorlu Havalimanı	✓	-	✓	×	-	×
Tokat Havalimanı	-	✓	✓	-	×	×
Trabzon Havalimanı	✓	✓	✓	×	×	✓
Uşak Havalimanı	-	-	✓	-	-	×
Van Ferit Melen Havalimanı	-	✓	✓	-	×	✓
Zonguldak Havalimanı	-	-	✓	-	-	×

Tablodaki işaretler sayısal verilere dönüştürülerek analiz edilmiştir. Her bir hava yolu şirketinin toplam havalimanı sayısı üzerinden mobil ve kiosk check-in uygunluk oranları hesaplanmıştır. Tablodaki veriler incelendiğinde, üç büyük Türk hava yolu şirketinin dijital check-in uygulamalarında benzer eğilimler gösterdiği ancak hizmetlerin yaygınlığı açısından bazı farklılıklarının olduğu görülmüştür. Özellikle mobil check-in hizmetlerinin yaygınlaşma oranının kiosk check-in uygulamalarına göre daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Tablodaki veriler ışığında baz alınan toplam 53 havalimanı içerisinde Pegasus'un 37 havalimanında, AJet'in 41 havalimanında, THY'nin ise 53 havalimanında hizmet verdiği saptanmıştır.

Tablo 6.2. Türkiye meşeli hava yolu şirketlerinin Türkiye'deki havalimanlarında hizmet verme oranları

Hava Yolu	Hizmet Verilen Havalimanı Sayısı	Yüzde (%)
THY	53	% 100
AJet	41	% 77,36
Pegasus	37	% 69,81

Türk Hava Yolları (THY), tabloda yer alan tüm havalimanlarında mobil check-in hizmeti sunmaktadır, bu durum %100 kapsama oranına işaret etmektedir. Bu sonuç, şirketin dijital dönüşüm sürecine verdiği önemin ve yolcu deneyimini iyileştirmeye yönelik stratejik yaklaşımının göstergesi olarak değerlendirilebilir. Hizmet verdikleri havalimanı sayıları üzerinden değerlendirildiğinde Pegasus'un mobil check-in oranının % 97,30 olduğu görülmüştür. AJet'in check-in oranı ise % 97,56'dır.

Tablo 6.3. Türkiye meşeyli hava yolu şirketlerinin Türkiye'deki havalimanlarındaki mobil check-in hizmet oranları

Hava Yolu	Mobil Check-in Sayısı	Hizmet Verdiği Havalimanı Sayısı	Yüzde (%)
THY	53	53	%100
AJet	40	41	%97,56
Pegasus	36	37	%97,30

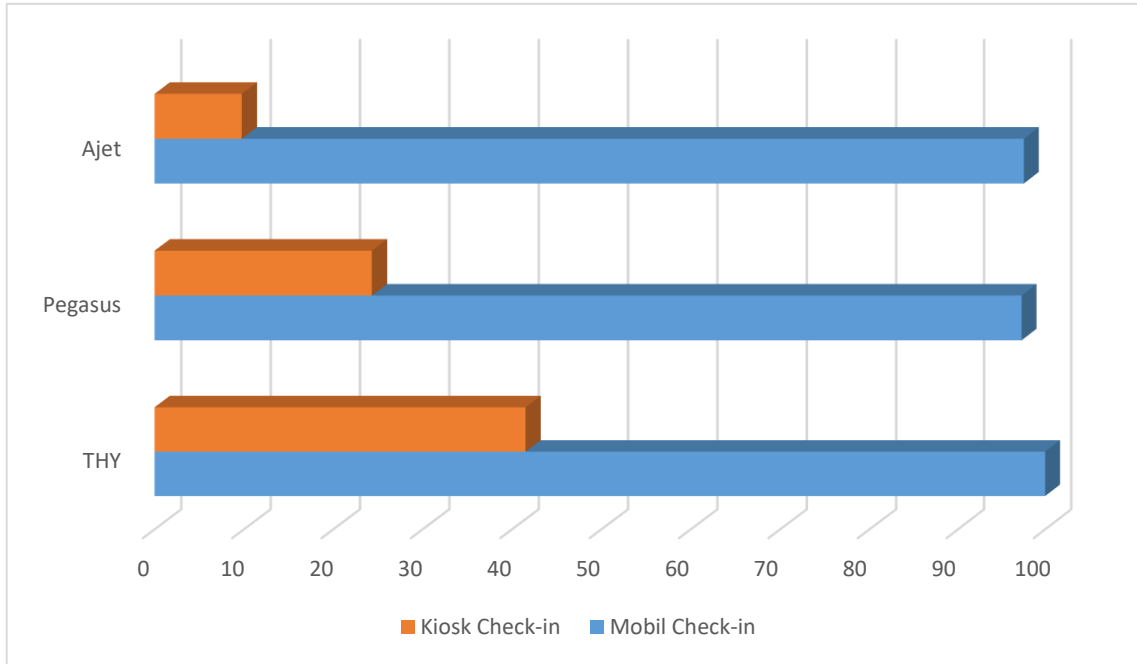
Bu veriler, her iki şirketin de mobil tabanlı hizmetlerde geniş bir kapsama sahip olduğunu ancak THY'ye göre daha sınırlı bir altyapı sunduğunu göstermektedir. Kiosk check-in hizmetleri açısından değerlendirildiğinde oranların daha düşük olduğu görülmüştür. THY, havalimanlarının yaklaşık % 41,51'inde kiosk check-in hizmeti sunmaktadır. Pegasus için bu oran % 24,32 iken AJet'te % 9,76'dır.

Tablo 6.4. Türkiye meşeyli hava yolu şirketlerinin Türkiye'deki havalimanlarında kiosk check-in hizmet oranları

Hava Yolu	Kiosk Check-in Sayısı	Hizmet Verdiği Havalimanı Sayısı	Yüzde (%)
THY	22	53	% 41,51
AJet	4	41	% 9,76
Pegasus	9	37	% 24,32

Bu farklılık, kiosk sistemlerin kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca mobil cihazların kullanımının yaygınlaşması ve yolcuların işlem tercihlerini mobil uygulamalardan yana kullanması, kiosk yatırımlarının görece geri planda kalmasına yol açmaktadır.

Tablo 6.5. Türkiye menşeli hava yolu şirketlerinin Türkiye'deki havalimanlarında mobil check-in ve kiosk check-in hizmetlerinin karşılaştırması



Karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, mobil check-in uygulamalarının tüm şirketler için öncelikli bir dijitalleşme stratejisi olduğu, kiosk check-in sistemlerinin ise daha çok yolcu kapasitesi yüksek havalimanlarında tercih edildiği anlaşılmaktadır. İstanbul, Ankara, İzmir ve Antalya gibi büyük havalimanlarında hem mobil hem de kiosk check-in hizmetleri bir arada sunulurken, küçük ölçekli havalimanlarında genellikle yalnızca mobil check-in seçeneği bulunmaktadır. Bu durum, şirketlerin maliyet-etkinlik anlayışını ve yolcu yoğunluğuna göre hizmet çeşitlendirmesini yansıtmaktadır. Bunun yanı sıra küçük ölçekli havalimanlarının söz konusu hizmetlerde arka plana atılması, bu şehirlerde yaşayan yolcuların, hava yolu ulaşımında yararlanabilecekleri dijital dönüşüm süreçlerine adaptasyonlarını geciktirmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Dijital Dönüşümün Türkiye’deki Sivil Havacılık Sektörüne Etkileri ve Havacılık 4.0 Uygulamaları konulu çalışma, tek bölüm dört ana başlık ile ele alınmıştır. Dijital dönüşüm bir süreci ifade etmektedir. Bu sebeple öncelikle dijital dönüşümün kısa bir tarihçesine, unsurlarına ve çıktılarına değinilmiştir. Çalışmadan da anlaşılabileceği üzere, dijital dönüşümün gerçekleşmesi temelde endüstriyel devrimlerin kendini gerçekleştirmiş olmasına bağlıdır. Buhar gücünün kullanımı ile başlayan endüstri 1.0 insan eliyle üretimden makineli üretime geçişi sağlamış, mekanik cihazlar ortaya çıkmıştır. Elektrik gücünün kullanılabileceği bilinci ile başlayan endüstri 2.0 ise seri üretim çağını başlatması ile ön plana çıkmaktadır. Bu devrim ile hayatımıza telefon ve telgraf girmiştir. Bilgisayar Çağı olarak nitelendirilen endüstri 3.0, ARPANET’in geliştirilmesi ile başlamıştır. Bu dönemde otomasyon artmış, destekli tasarım ve üretim sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemlerin üstüne eklenerek ve zaman geçtikçe doğanın ve insanın gücü keşfedilerek ortaya çıkan devrimlerin sonuncusu ise endüstri 4.0’dır. Dijitalleşme, endüstri 4.0 ile gerçekleştirilmiştir aynı zamanda bazı kaynaklarda endüstri 4.0 “*Dijital Dönüşüm*” başlığı ile ifade edilmektedir.

Endüstri 4.0’ın birçok bileşeni vardır. Bu bileşenler güncel hayatımızda her alanda kullanılmakta ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bu bileşenler; yapay zekâ, IoT, büyük veri, CPS, akıllı fabrikalar, otonom robotlar, 3D yazıcılar, simülasyonlar ve bulut bilişim teknolojileridir. Endüstri 4.0’ın temel gayesi vasıf gerektirmeyen işlerin bu teknolojiler ile yürütülmesidir. Çoğu sektör gerekli yatırımları yaparak iş ve işleyişlerinde bu teknolojilerden faydalanmaktadırlar. Yapılan araştırmalar ve gözlemler sonucunda da anlaşılmaktadır ki müşteriler, teknolojiyi etkin kullanan ve hizmet alımını kolaylaştıran işletmeleri tercih etmektedir.

Dijital dönüşümün sivil havacılığa olan etkileri araştırılırken bu etkilerin sebep olduğu sonuçların daha iyi anlaşılması açısından sivil havacılık tarihini araştırma ihtiyacı doğmuştur. Havacılık tarihi, öncü dönem ile başlamaktadır. Uçma arzusu mitolojik kaynaklarda “*İkarus Miti*” ile bağdaştırılmıştır. Antik Çağ’a uzanan bu tarihçe incelendiğinde, sınırları aşarak uçma arzusunun insanın doğasında olduğu görülmektedir. Türkiye’nin tarihi süreçlerine bakıldığında ise Osmanlı döneminde Lagari Hasan

Çelebi'nin uçuş denemesi ile başladığı görülmektedir. Öncü dönemin en önemli gelişmesi ise Tony Jannus tarafından gerçekleştirilen ilk tarifeli sivil yolcu taşımacılığıdır. Benoist XIV model hidroplan kullanılarak 21 km'lik bir uçuş gerçekleştirilmiştir. Türkiye, cumhuriyet öncesi savaş döneminde bile bu sürece seyirci kalmamış, aynı dönemde Türkiye'den Avrupa'ya havacılık eğitimi almak üzere öğrenciler gönderilmiş ve Vecihi Hürkuş tarafından "*Vecihi K-6*" isimli bir uçak tasarlanmıştır.

Havacılığın ikinci dönemi ise ikinci dünya savaşı ile başlamıştır. Savaş zamanında ülkeler, havacılık sektörü askeri amaçlar için yapılandırma girişimlerinde bulunmuştur. Bu dönemde jet motorlar icat edilmiş, bu gelişmeler savaş sonrası sivil havacılığın gelişimi için önemli rol oynamıştır. Savaş sonrası dünyanın birçok yerinde yeni havalimanları inşa edilmiş ve sınır ötesi ticari hava taşımacılığı dönemi başlamıştır. Hava yolu şirketlerinin sayısı artmış, günümüzde de kullanılan Boeing gibi jet motorlu uçak markaları doğmuştur. Türkiye'nin her dönemde havacılık gelişmelerini yakından takip ettiği yapılan araştırmaların sonucunda aşîkârdır. Cumhuriyetin ilanının ardından Eskişehir'de hava okulu açılmış, Ankara'da Türk Tayyare Cemiyeti (Türk Hava Kurumu) kurulmuş ve Kayseri'de uçak fabrikası açılmıştır. 1936 senesinde Nuri Demirağ tarafından ilk yerli ve milli "*Nu D-36*" isimli uçak üretilmiştir. İlklerin her zaman önemli olmasının yanı sıra Türkiye'de havacılık sektöründe gelişmeler sürekli devam etmiştir. 1938 yılında DHMİ'nin temelleri, 1954 yılında SHGM, 1955 yılında ise THY kurulmuştur. Bu dönem dünya tarihine "*Havacılık 3.0 Dönemi*" olarak geçmiştir. Türkiye SHGM'i kurarak havacılık alanında ulusal bir otorite sahibi olmuştur. Günümüzde de uluslararası otoritelerin koyduğu kurallar asgari sayılarak SHGM'nin kuralları çerçevesinde havacılık faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.

Son dönem ise "*Havacılık 4.0*" olarak nitelendirilen Modern Havacılık Dönemidir. Bu dönem dijital teknolojilerin havacılık sektöründe kullanılması ile başlamıştır. Uçak üretimi, uçak bakım-onarım işlemleri, bilet pazarlaması, uçuş öncesi yer hizmetleri vb. sivil havacılığa dair bütün işlemler yapay zekâ, robot ve otomasyon sistemleri, büyük veri teknolojileri gibi endüstri 4.0'ın bileşenleri kullanılarak ile yürütölmeye başlamıştır. Söz konusu bileşenlerin havacılığın her alanında kullanıldığı saptanmıştır fakat sektörün farklı alanlarında bazı bileşenlerin daha fazla ön planda olduğı da görölmektedir. Örneğın yapay zekâ uygulamalarına en fazla uçak bakım-onarım çalışmalarında başvurulduğı sonucuna varılmıştır. Uçak bakım-onarım faaliyetleri oldukça maliyetli ve yüksek güvenlik tedbirleri isteyen faaliyetlerdir. Yapay zekâ yardımı ile uçak bakım-onarım süreçleri iyileştirilmektedir fakat bu iyileştirme

sadece yapay zekâ yardımı ile gerçekleştirilmemektedir. Büyük veri teknolojisinin topladığı veriler de bu sürece yardımcı olmaktadır. Yapay zekânın buradaki en önemli rolü ise bu verilerin analizi sonucunda mümkün olduğunca bir hasar meydana gelmeden bakım-onarım periyotlarını belirlemek ve risk unsuru taşıdığı kanaatine vardığı uçak parçalarını tespit etmektir. Bu sayede yolcu mağduriyetini önlemekle beraber hava yolu şirketlerini büyük mali zararlardan kurtarmaktadır.

Dijitalleşmenin havacılığa entegrasyonu incelendiğinde, Türkiye'nin diğer dünya ülkelerine nazaran öncü bir rol üstlendiği görülmektedir. Özellikle 2018 yılında iki yakayı birbirine bağlayan ve dünyanın en önemli transit şehri olan İstanbul'da açılan İGA, son teknoloji kullanılarak tasarlanmış ve dünyada büyük yankı uyandırmıştır. Mimari tasarım sürecinden, yapılandırılmasına ve işletilmesine kadar her noktada endüstri 4.0'ın getirilerinden faydalanılmıştır. Bugün dünyadaki havalimanları ile karşılaştırıldığında İGA, büyüklük açısından dünyada üçüncü, Avrupa'da ise birinci sıradadır. Yolcu ve yük kapasitesinin büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda kullanılan teknolojiler sayesinde başarılı bir işleyiş sürdürdüğü görülmektedir.

Türkiye sadece havalimanlarıyla değil aynı zamanda başarılı hava yolu şirketleriyle de ön plana çıkmaktadır. Bünyesinde çok fazla hava yolu şirketi bulundurmamasına rağmen mevcut şirketler dünya çapında isimlerini duyurmuştur. Bunların içerisinde hem diplomatik hem de sektörel başarı açısından en önemli şirket Türkiye'nin bayrak taşıyıcısı olan THY'dir. THY, 2012 yılından bu yana "*Dünyanın En Çok Ülkesine Uçan Havayolu Şirketi*" unvanına sahiptir (Lojiport, 2024). Mevcut uçuş rotalarının çokluğu ve hizmet kalitesinin üst düzeyde tutulması sayesinde ismini duyurmuştur ve bununla beraber Türkiye'yi başarıyla temsil etmektedir. THY'nin yanı sıra yine birçok ödüle layık görülen diğer Türkiye meşeli hava yolu şirketi Pegasus'tur. Çalışmanın literatür taraması yapılırken "*dijitalleşme*", "*Türkiye*" ve "*havacılık*" terimlerinin beni yönlendirdiği en önemli gelişme "*Türkiye'nin Dijital Hava Yolu*" unvanıyla anılan Pegasus Hava Yolları'nın haberleri oldu. 2018 yılında bu unvana layık görülen Pegasus, düşük maliyetli hava yolu şirketi misyonu ile sektöre girmişti. Misyonunu sürdürmesinin yanı sıra dijitalleşmeye yaptığı yatırımlar ve geliştirdiği uygulamalar sayesinde faaliyet verimliliğini artırmıştır. Dijital dönüşüme girdiği 2018 yılı baz alınarak yıllar içerisindeki kâr durumu incelendiğinde dijitalleşmeye yapılan yatırımların ve diğer etmenlerin de etkisiyle beraber arttığı görülmektedir. 2018 yılı net kârını 507 milyon TL olarak açıklayan Pegasus, 2024 yılı net kârını 13,2 milyar TL olarak açıklamıştır. Yıllar arasındaki kur farkı da göz önünde bulundurulduğunda %330

seviyelerimde bir kâr artışı söz konusudur. Geçmiş yıllarda Pegasus, uçaklarının eski olması ve hizmet kalitesinin düşük olması sebebiyle eleştirilmekteydi. Bugün bakıldığında ise dijitalleşmeye yapılan yatırımlar sayesinde müşteri ilişkileri geliştirilmiştir fakat sayısal veriler incelendiğinde kiosk check-in teknolojisinin büyük ve yolcu yoğunluğunun fazla olduğu havalimanlarında sınırlı olduğu görülmektedir. Gelişimin devam ettiği bu dijitalleşme sürecinde chatbot, akıllı seyahat asistanı ve self check-in ve bagaj kioskları sayesinde memnuniyet artırılmıştır. Yolcular açısından bagaj kiosklarının öne çıkan avantajı arındırılmış salona geçerken el bagajlarında kabine alınamayacak bir madde bulundurmaları halinde sıra beklemeden, bu cihazlar yardımıyla sadece biletlerini okutarak aldıkları bagaj etiketini el bagajlarına yapıştırıp, el bagajlarını da uçak altına gönderebilmelidir. Bu uygulamaların hava yolu şirketine en büyük katkısı ise çalışan sayısını düşürerek personel gider kalemini düşürmeleridir.

Türkiye genç ve gelişmekte olan bir ülkedir. Buna rağmen tarihinin her döneminde havacılık gelişmelerini arka plana atmamış, bu alanda kendisini geliştirmeye devam etmiştir. Stratejik konumunu havacılık alanında etkili kullanmıştır. Söz konusu havacılık gelişmelerinin turizm alanındaki gelişmelere katkısının yanı sıra, transit yolcuların vakit geçirdiği havalimanlarının üst düzey kalitede hizmet vermesi ülkenin bilinirliği ve merak uyandırması açısından oldukça önemli bir unsurdur. Türkiye bu avantajın farkındadır ve bu alandaki yatırımlarını doğru yönetmektedir. Bu çıkarımlara en büyük örnek ise İGA'dır.

7.2. Öneriler

Dijital dönüşüm sonucunda chatbot ve akıllı seyahat danışmanı gibi yolcuya bilgi aktarımı sağlayan ve sorunlarını çözmek için geliştirilen uygulamalar çok yeni olmakla beraber geliştirilmeye açıktır. Veri akışında yaşanacak küçük bir sorun hem yolcuyu hem de havayolu şirketi ve iştiraklerini mağdur edebilmektedir. Örneğin iptal edilen uçuş bilgilerinin yolculara geç iletilmesi havalimanında büyük bir endişeye sebep olabilir ve diğer uçuşlar da bu durumdan etkilenebilir. Bu sebeple bu uygulamaların en iyi hali bulunana kadar geliştirmeye devam edilmeli, yolcu memnuniyetini artıracak yeni iyileştirmeler geliştirilmeli ve geliştirmelerden faydalanan yolcuların geri dönütleri iyi okunmalıdır.

Yapılan araştırmaların sonucunda dijital dönüşümün sivil havacılığa etkilerinin oldukça kapsayıcı ve uygulanabilir olduğu görülmektedir. Türkiye'nin bu gelişmelerden

geri kalmadığı ve kaynaklarını doğru yönettiği çıkarımına varılmakla beraber bu gelişmelerin uygulandığı başlıca havalimanlarının olduğu ve diğer havalimanlarının gelişmeleri çok geriden takip ettiği görülmektedir. Yolcu yoğunluğunun fazla olduğu havalimanlarının geliştirilmeye daha açık görülmesi kabul edilebilirdir fakat diğer havalimanlarının geleneksel yöntemlerle işletilmesi vatandaşların bu sürece uyum sağlama sürelerini geciktirmektedir. Bu sebeple kırsal kesimlerdeki havalimanları da dâhil olmak üzere en azından bölgelerde pilot havalimanları seçilerek dijital dönüşüm sonucunda geliştirilen uygulamaların (self check-in kioskuları, express bagaj hizmeti vs.) sürece dâhil edilmesinde fayda görülmektedir.



KAYNAKLAR

- ACI World. (28 Ocak 2025). Joint ACI World-ICAO passenger traffic report, trends, and outlook. Montreal, Kanada. <https://aci.aero/2025/01/28/joint-aci-world-icao-passenger-traffic-report-trends-and-outlook/#>
- Airbus. (24 Nisan 2025). *Digital twins: accelerating aerospace innovation from design to operations*. Airbus: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2025-04-digital-twins-accelerating-aerospace-innovation-from-design-to-operations#:~:text=Predictive%20maintenance%20for%20enhanced%20operations>
- Airbus. (19 Ekim 2023). *Developing the automated aerospace production systems of the future*. Airbus: <https://www.airbus.com/en/innovation/digital-transformation/industry-4-0/robotics>
- AJET. (2025). *Airports online check-in status*. AJET: <https://ajet.com/checkin/airports-online-checkin-status>
- Akar, V. (2024). *İşletmelerde dijital dönüşümden dijital olgunluğa*. Ankara: UBAK Yayınevi. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13881736>
- Aksu, G., & Güzeller, C. O. (2019). Büyük veri: sosyal bilimlerde eğitim bilimlerinde kullanımı ve uygulama alanları. *Akdeniz İnsani Bilimler Dergisi*, 9(1), 13-26. <https://doi.org/10.13114/MJH.2019.443>
- Aktan, E. (2018). Büyük veri: uygulama alanları, analitiği ve güvenlik boyutu. *Bilgi Yönetimi Dergisi*, 1(1), 1-22. <https://doi.org/10.33721/by.403010>
- Artar, O., & Türkay, U. İ. (2021). Havacılık sektöründe havalimanlarının dijital dönüşümü. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Working Paper Series*, 2(1), 86-97.
- Atlay Işık, D., & Tuncer, B. (2024). Havalimanı yolcularının satın alma davranışlarını incelemeye yönelik bir araştırma. *The Journal of Academic Social Science*, 8(8), 261-280.
- Avaner, T., & Çelik, M. (2021). Türkiye’de dijital dönüşüm ofisi ve yapay zeka yönetimi: Büyük Veri ve Yapay Zeka Daire Başkanlığı’nın geleceği üzerine. *Medeniyet Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 1-18.
- Avcit. (11 Temmuz 2023). *The role and functions of an airport operations control center*. Avcit: <https://www.avcit.com/the-role-and-functions-of-an-airport-operations-control-center.html>

- Bagheri, B., Yang, S., Kao, H.-A., & Lee, J. (2015). Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in industry 4.0 environment. *IFAC Papers Online*, 1622-1627.
- Bayuk, M. N., & Demir, B. N. (2019). Endüstri 4.0 kapsamında yapay zeka ve pazarlamanın geleceği. *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, 5(19), 781-799. <http://dx.doi.org/10.31589/JOSHAS.163>
- Bernard, M. (2012). Real learning through flight simulation. *FAA Safety Briefing*, 8-10.
- BIM Teknoloji. (24 Haziran 2019a). *BIM ve dijital ikiz (digital twins) kavramı*. BIM Teknoloji: <https://www.bimteknoloji.com/fikir/bim-ve-dijital-ikiz-digital-twins/>
- BIM Teknoloji. (8 Ocak 2019b). *BIM, Tokyo'nun Haneda Havaalanındaki operasyonlarını geliştirdi*. BIM Teknoloji: <https://www.bimteknoloji.com/haber/bim-tokyonun-haneda-havaalanindaki-operasyonlarini-gelistirdi/>
- Bolatan, G. İ. (2020). Kalite 4.0. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*(21), 437-454.
- Bozkurt, A., Hamutoğlu, N. B., Kaban, A. L., Taşcı, G., & Aykul, M. (2021). Dijital bilgi çağı: Dijital toplum, dijital dönüşüm, dijital eğitim ve dijital yeterlilikler. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 35-63. <https://doi.org/10.51948/auad.911584>
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında türkiye analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 50-72.
- Can, Ö., & Arabacı, H. (2021). 3 boyutlu yazıcıların moda aksesuarları üretiminde kullanılması. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5(3), 445-456. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.942255>
- Çakıcı, A. (31 Aralık 2020). *Rakamlar ve hikayelerle Türkiye'nin sivil havacılık serüveni*. Trt Haber: <https://www.trthaber.com/haber/gundem/rakamlar-ve-hikayelerle-turkiyenin-sivil-havacilik-seruveni-542799.html>
- Çakır, D., Tepe, C., & Odabaş, M. S. (2022). Akıllı ev sistemlerinde yapay zeka kullanımı üzerine bir değerlendirme. *OMÜ Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi*, 2(2), 185-204.
- Çankaya, D. (2020). Havacılıkta yaygınlaşan yapay zeka, API ve büyük veri temelli çözümler. *Academic Perspective Procedia*, 3(1), 465-473. <https://doi.org/10.20875/makusobed.309727>
- Çark, Ö. (2019). *Kurumsal kaynak planlama (KKP) sistemleri*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Çekderi, A. (2019). İkaros miti bağlamında sanat tarihindeki uçuş denemeleri. *Sanat-Tasarım Dergisi*(10), 1-6. <https://doi.org/10.35333/Sanat.2019.82>

- Çelen, S. (2017). Sanayi 4.0 ve simülasyon. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 9-26.
- Çelik, K. (2021). Bulut bilişim teknolojileri. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(24), 436-450.
- Çelikaş, M. S., Sonlu, G., Özgel, S., & Atalay, Y. (2015). Endüstriyel devrimin son sürümünde mühendisliğin yol haritası. *Mühendis ve Makina*, 56(662), 24-34.
- Davutoğlu, N. A. (2020). Üçüncü ve dördüncü sanayi devrimleri arasındaki temel ve sistematik farklılıkların determinist bir yaklaşımla analizi. *Management and Political Sciences Review*, 2(1), 176-194.
- Davutoğlu, N. A., Akgül, B., & Yıldız, E. (2017). İşletme yönetiminde sanayi 4.0 kavramı ile farkındalık oluşturarak etkin bir şekilde değişimi sağlamak. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(52), 544-567. <https://doi.org/10.16992/asos.12648>
- DHMI. (2021). DHMI hakkında ders notu. https://www.dhmi.gov.tr/PublishingImages/Lists/HavacilikEgitim_Duyurular/NewForm/DHM%C4%B0%20HAKKINDA%20DERS%20NOTU%20-%20UZMAN.pdf
- Doğan, K., & Arslantekin, S. (2016). Büyük veri: önemi, yapısı ve günümüzdeki durum. *DTFC Dergisi*, 56(1), 15-36. https://doi.org/10.1501/Dtcfder_0000001461
- Doğru, Y. (21 Kasım 2023). *Yapay zekalı ev sahipleri: havaalanları*. Havacılık Psikolojisi: <https://blog.havacilikpsikolojisi.net/yapay-zekali-ev-sahipleri-havaalanlari/>
- Dursun, E. (2021). Sivil havacılık sektöründe büyük veri teknolojisinin kullanımı ve getireceği yeni fırsatlar. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 18(43), 7185-7219. <https://doi.org/10.26466/opus.936145>
- EASA. (2023). *Artificial intelligence and aviation*. European Union Aviation Safety Agency: <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/artificial-intelligence-and-aviation-0>
- Elitaş, C., & Özdemir, S. (2014). Bulut bilişim ve muhasebede kullanımı. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 16(2), 93-104.
- Esendağ, M. (9 Temmuz 2021). *Wright kardeşler'in hayatı*. Herkes için havacılık: <https://herkesicinhavacilik.com/2021/07/09/wright-kardeslerin-hayati/>
- EUROCONTROL. (22 Nisan 2020). *Advanced surface movement guidance and control system*. EUROCONTROL: <https://www.eurocontrol.int/service/advanced-surface-movement-guidance-and-control-system>
- Fırat, O. Z., & Fırat, Ü. S. (2017). Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46(2), 211-223. <https://doi.org/10.5152/iujbsb.2017.005>

- Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: big data concepts, methods and analytics. *International Journal of Information Management*, 35(2), 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>.
- Gerede, E. (2006). Sivil havacılık faaliyetlerin sınıflandırılması ve Türkiye'de hava taşımacılığı faaliyetlerinin tanımlanmasına ilişkin sorunlar. *Kayseri VI. Havacılık Sempozyumu* (s. 197-203). Nevşehir: HaSeM06.
- Goyal, S. (2014). Public vs private vs hybrid vs community-cloud computing: a critical review. *I.J. Computer Network and Information Security*, 20-29. <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2014.03.03>
- Göncüoğlu, B. (2 Haziran 2023). Tokyo'da tamamlanan ilk 3D baskılı, depreme dayanıklı bina: 3DPOD. Arkitera: <https://www.arkitera.com/haber/tokyoda-tamamlanan-ilk-3d-baskili-depreme-dayanikli-bina-3dpod/>
- Gücenmez, T. (2023). Türkiye'de dijital dönüşümün iş gücü piyasalarına etkisi ve gelir dağılımı ilişkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 995-1005. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.1361092>
- Güler, E. (2023). Veri yönetimi. Ö. Sebetci (ed.), *Bilgi Teknolojileri ve Yönetim Bilişim Sistemleri* (s. 65-86). İstanbul: Kodlab Yayın.
- Gülleroğlu, H., & Coşkun, F. (2024). Büyük veri yapısı ve eğitimde kullanılması. *Milli Eğitim Dergisi*, 53(242), 1139-1152. <https://doi.org/10.37669/milliegitim.1222977>
- Gümüş, P., Çiçek, M., & Uncular, M. H. (2021). Teknolojinin pazarlamadaki yeri ve yeni eğilimler: Pegasus Hava Yolları örneği. *Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi*, 225-254.
- Güneri, S. (2023). Dünyada ve Türkiye'de havacılık örgütleri. H. Güngör (Ed.), *Sivil Havacılık Yönetiminin Temelleri* (s. 29-76). İstanbul: Akademi Titiz Yayınları.
- Havelsan. (2019). *Artemis hava trafik kontrol eğitim simülatorü*. Havelsan: <https://www.havelsan.com/tr/urunler/artemis-hava-trafik-kontrol-egitim-simulatoru>
- Hintze, A. (14 Kasım 2016). *Understanding the four types of artificial intelligence*. Government Technology: <https://www.govtech.com/computing/understanding-the-four-types-of-artificial-intelligence.html>
- IATA. (2023). *The founding of IATA*. IATA: <https://www.iata.org/en/about/history/>
- ICAO. (4 Haziran 2004). *Advanced surface movement guidance and control systems (A-SMGCS) manual*. ICAO: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/4404.pdf>
- İGA. (Ağustos 2020). Stratejik iletişim rehberi. İstanbul, Türkiye.

- İnanç, E. (23 Ağustos 2023). *Uçağın 120 yıllık evrimi (bölüm 1 – öncüler)*. Airline Haber: <https://www.airlinehaber.com/erhan-inanc-yazdi-ucagin-120-yillik-evrimi-bolum-1-onculer/>
- İNNOVA. (18 Ekim 2023). *Havacılık sektöründe dijital dönüşüm trendleri*. İNNOVA: <https://www.innova.com.tr/blog/Havacilik-sektorunde-dijital-donusum-trendleri>
- İpek, H. B. (2023). Dijitalleşmenin avantaj ve dezavantajları. G. G. Ekşi, & N. Apaydın (ed.), *Örgütlerde Dijitalleşme* (s. 151-160). Ankara: Nobel Yayınevi.
- Jane, O., Şimşek Türeli, K. S., & Solakoğlu, E. (2018). Havacılık sektörüne yönelik standardizasyon, sertifikasyon ve yasal mevzuat hakkında CAPPADOCIA projesinden değerlendirmeler. *Mühendis ve Makina*, 59(690), 79-88.
- Kabakçı, A. (2023). Endüstri 4.0 ve platform çalışma: Niteliği, fırsatları ve zorlukları bağlamında bir değerlendirme. *Bitlis Eren Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 1(1), 13-23.
- Kablan, A. (2018). Endüstri 4.0, "Nesnelerin İnterneti"- akıllı işletmeler ve muhasebe denetimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı), 1561-1579.
- Karabudak, S., & Akkuş, M. S. (2021). Yeni nesil dizileme verilerinin analizinde bulut teknolojisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1-10. <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.1005534>
- Karadayı, M. A., Gökmen, Y. G., Kasap, L. G., & Tozan, H. (2019). Sağlıkta güncel simülasyon yaklaşımları: bir derleme çalışması. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(1), 1-16. <https://doi.org/10.7240/jeps.444190>
- Karakuş, G. (2022). havacılık 4.0 kapsamında havalimanlarında dijital dönüşüm: Ankara Esenboğa Havalimanında bir araştırma. *16. Uluslararası Güncel Araştırmalarla Sosyal Bilimler Kongresi* (s. 796-813). Antalya: Saybilder.
- Kavzoğlu, T., & Şahin, E. K. (16-19 Ekim 2012). Bulut bilişim teknolojisi ve bulut cbs uygulamaları. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)* (s. 1-9). Zonguldak: UZAL-CBS.
- Kaya, M. (2021). Sanayi 4.0'da yapay zeka ve Türkiye. *Fırat Üniversitesi İİBF Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 5(2), 63-91.
- Kayış, H. H. (2021). Dijital eşitsizlikleri yakından incelemek: dijital uçurum buzdağının görünen yüzü müdür? *Ege Üniversitesi İletişim Fakültesi Yeni Düşünceler Hakemli E-Dergisi*(15), 109-124.
- Keskin, B. (23 Ekim 2019). *BIM-enabled digital transformation for airports*. Autodesk Platform Services: <https://aps.autodesk.com/blog/guest-blog-bim-enabled-digital-transformation-airports?linkId=76861466>

- Keskin, B., Ozorhon, B., & Köseoğlu, O. (2019). BIM implementation in mega projects: challenges and enablers in the Istanbul Grand Airport (IGA) project. *In Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering: Proceedings of the 35th CIB W78 2018 Conference* (s. 881-888). Springer International Publishing.
- Kılıç, B. (21 Eylül 2024). 2024-2028 ulusal siber güvenlik strateji belgesi: özetle hedefler. Hukuk ve Bilişim: <https://hukukvebilisim.org/2024-2028-ulusal-siber-guvenlik-strateji-belgesi-ozetle-hedefler/#comments>
- Kılıç, R. (2023). Sanayi devrimlerinin serüveni: Endüstri 1.0'dan endüstri 5.0'a. *Takvim-i Vekayi*, 11(2), 276-291.
- Koca, D. (2020). Sanayi devrimlerinin tarihsel arka planı ve işgücü becerileri üzerindeki yansımaları. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 16(31), 4531-4558. <https://doi.org/10.26466/opus.704841>
- Kocakaya, A. M. (23 Şubat 2023). *Dijitalleşme nedir?* AnalyticaHouse: <https://analyticaHouse.com/tr/blog/dijitallesme-nedir>
- Koch, W., Mancuso, R., West, R., & Bestavros, A. (2019). Reinforcement learning for UAV attitude control. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, 3(2), 1-21. <https://doi.org/10.1145/3301273>
- Koyuncu, M. (2015). Çağdaş zihin felsefesinde yapay zekâ tartışmaları -Turing testi ve yansımaları-. *IV.Türkiye Lisansüstü Çalışmalar Kongresi Bildiriler Kitabı-V* (s. 19-34). Matsis Matbaa.
- Kökhan, S., & Özcan, U. (2018). 3D yazıcıların eğitimde kullanımı. *Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 81-85.
- Kömürlü, R., & Üçel, Ç. (2022). BIM tabanlı proje yönetimi ve Türkiye'deki uygulamalarına ilişkin bir vaka incelemesi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*(133), 8-25.
- KPMG. (2022). *Aviation 2030*. İrlanda: KPMG. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ie/pdf/2023/01/ie-aviation-2030-jan-23.pdf>
- Kumru, S., & Kasımoğlu, M. (2022). İşletmelerde dijital dönüşümün stratejik yönetimi: bir alan araştırması. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 17(2), 139-159. <https://doi.org/10.54860/beyder.1163107>
- Kuruca, Y., Üstüner, M., & Şimşek, I. (2022). Dijital pazarlamada yapay zekâ kullanımı: sohbet robotu (chatbot). *Medya ve Kültür*, 2(1), 88-113.
- Kuşhan, M. C. (2019). Havacılıkta MRO ve endüstri 4.0. *Makina*, 17(1), 15-18.

- Lojiport. (19 Aralık 2024). *En çok ülkeye uçan THY, Guinness dünya rekoru kırdı*.
Lojiport: <https://www.lojiport.com/en-cok-ulkeye-ucan-thy-guinness-dunya-rekoru-kirdi-117571h.htm>
- Mahnamfar, A., & Ünlü, N. (2022). Cyber-physical systems and their security issues. *Savunma Bilimleri Dergisi*(41), 97-118.
<https://doi.org/10.17134/khosbd.1100660>
- Meriç, Ö. Ş. (2014). Performansa dayalı seyrüsefer (PBN) ve dünya uygulamaları. *V.Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı* , (s. 1-10). Kayseri.
- Mevlütöğlu, A. (2013). Uçuş eğitiminde simülörler. *Mühendis ve Makina*, 54(636), 17-21.
- Meydan, C. H. (2023). Havayolu işletmelerinde dijital dönüşüm uygulamaları üzerine bir inceleme. *Journal of Aviation Research* , 65-82.
- Nacak, A. (2024). Havacılık alanında dijital ikiz uygulamaları. *Journal of Aerospace Science and Management*, 2(1), 58-80.
- NTV. (11 Aralık 2024a). *HGS uygulaması hacklendi mi? PTT'den açıklama geldi*. NTV Haber: <https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/hgs-uygulamasi-hacklendi-mi-pttden-aciklama-geldi,GGAIR-ioN0OzawAFI4xHCg/2ouIjj1bKUQT88zOntkRg>
- NTV. (14 Ekim 2024b). *Robot süpürge hacklendi: Evcil hayvanları kovaladı, küfür etti!* NTV Haber: https://www.ntv.com.tr/galeri/dunya/robot-supurgeler-hacklendi-evcil-hayvanlari-kovaladi-kufur-etti,9aU2_-5S6UqgUH86StWqNg/F_eFzyKLf0CtcV9UBZpXTA
- Ocak , B., & Gök, M. (2022). Endüstri 4.0 kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi: GOSB teknopark firmaları üzerine uygulama. *Holistic Economics*, 1(1), 21-30.
<https://doi.org/10.55094/hoec.1.1.03>
- Oracle. (2022). *The evolution of big data and future of the data platform*. Oracle Cloud Infrastructure: <https://www.oracle.com/tr/a/ocom/docs/big-data/big-data-evolution.pdf>
- Orçanlı, K. (2020). Stratejik lojistikte karar verme yöntemleri. K. Arun, S. Begeç, & C. Şen (Ed.), *Stratejik Lojistik Yönetimi* (s. 113-145). Ankara: Nobel Yayınları.
- Özbek, T. (26 Mayıs 2023). *79 Yıl önce bugün ilk Türk yolcu uçağı Nu.D.38 ilk yolcu seferini yaptı*. TOLGAOZBEK.com: <https://tolgaozbek.com/hobi/havacilik-tarihi/79-yil-once-bugun-ilk-turk-yolcu-ucagi-nu-d-38-ilk-yolcu-seferini-yapti/>
- Özdem, H., & Bora, M. P. (2022). Türkiye’de robotik süreç otomasyonu. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 1-9.

- Özden, A. T. (2022). 1.0'dan 5.0'a dünya: Web, pazarlama, endüstri ve toplum. *Journal of Business in The Digital Age*, 5(1), 29-44. <https://doi.org/10.46238/jobda.1003371>
- Özdoğan, M. (30 Temmuz 2024). *IBM'in yapay zekası Watson, kanser tedavisi için iddialı geliyor*. Prof. Dr. Mustafa Özdoğan Tıbbi Onkoloji Uzmanı: <https://www.drozdogan.com/ibmin-yapay-zekasi-watson-kanser-tedavisi-icin-iddiali-geliyor/>
- Özel, Ş., Zeren, M., & Alp, N. Ç. (2020). 3D Yazıcılar ile katmanlı imalat teknolojisinin otomotiv endüstrisinde uygulaması. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 4(1), 18-31.
- Özgürel, G., & Şahin, K. S. (2021). Turizmde robotlaşma: yiyecek-içecek sektöründe robot şefler ve robot garsonlar. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 18(Yönetim ve Organizasyon Özel Sayısı), 1849-1882. <https://doi.org/10.26466/opus.899296>
- Özsoylu, F. (2017). Endüstri 4.0. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 21(1), 41-64.
- Pandey, S. (Mart 2024). *Demystifying APOC, AOCC & ICCC (for smart airport cities)*. ReserchGate: https://www.researchgate.net/publication/379118763_Demystifying_APOC_AOCC_ICCC_for_Smart_Airport_Cities
- Patel, A. (5 Şubat 2024). *Airport development with BIM: The future of smarter aviation infrastructure*. United BIM: <https://www.united-bim.com/airport-development-with-bim/>
- Pegasus. (29 Kasım 2023). *Pegasus'tan seyahat asistanı*. Pegasus: <https://www.flypgs.com/basin-bultenleri/pegasustan-seyahat-asistani> adresinden alındı
- Pegasus. (2025). *Havalimanları online check-in uygunlukları*. Pegasus: <https://www.flypgs.com/faydali-bilgiler/ucusun-icin-bilgiler/havalimanlari-online-check-in-uygunluklari>
- Pehlivanoğlu, Y. (2013). Havacılık ve uzay çalışmalarının tarihsel gelişimi. *Havacılık ve Uzay Bilimlerine Giriş* (s. 1-15). İstanbul: Hava Harp Okulları Yayınları.
- Petekçi, A. R. (2021). Endüstri 4.0: fırsat mı tehlike mi? *Bilgisayar Bilimleri Ve Teknolojileri Dergisi*, 2(1), 7-15.
- Premuzic, T. C. (2021, November 23). The essential components of digital transformation. <https://hbr.org/2021/11/the-essential-components-of-digital-transformation>
- Robots, U. (2022). *Pakmaya, artan ürün talepleri karşısında kolaboratif robot kullanarak kutu yapma, paketleme, kolileme ve paletlemeyi otomatikleştirdi*. Universal Robots: <https://www.universal-robots.com/tr/case-stories/pakmaya/>

- Sağtaşı, S. (2021). Endüstri 4.0'ın dijital pazarlamaya etkileri. *Tarsus Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 51-66.
- SAMPAŞ. (2025). *Dijital ikiz ile havalimanları yönetimi*. SAMPAŞ Holding: <https://sampas.com.tr/basin-bulteni/dijital-ikiz-ile-havalimanlari-yonetimi>
- Sarıtaş, T., & Üner, N. (2013). Eğitimde yenilikçi teknolojiler: bulut teknolojisi. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 192-201.
- Seçkiner, S., Atay, M., & Eroğlu, Y. (2021). Robotik süreç otomasyonlarının pandemi dönemi havacılık sektörü uygulamaları ve geleceği. *Journal of Aviation*, 5(2), 290-297. <https://doi.org/10.30518/jav.947025>
- Sevinçel, P. (6 Temmuz 2018). *Aviation 4.0: The age of democratized aerial mobility*. Medium: <https://medium.com/aviaryproject/aviation-4-0-the-age-of-democratized-aerial-mobility-33c871f6f2a6>
- SHGM. (2006). *Tarihçe*. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü: <https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/1--tarihce>
- Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 ve girişimcilikte yeni yaklaşımlar. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(32), 43-57. <https://doi.org/10.30794/pausbed.424955>
- StartUs Insights. (2025). *Top 10 cyber-physical systems examples in 2023 & 2024*. StartUs Insights: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/cyber-physical-systems/>
- Sunexpress. (2025). *Check-in bilgilendirmesi*. Sunexpress Hava Yolları: <https://www.sunexpress.com/tr-tr/information/yolcu-bilgilendirme/havalimaninda-check-in/>
- Şahin, Y. (2024). Havacılık ve yapay zeka alanındaki çalışmaların bibliyometrik analizi. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 11(110), 1637-1648. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13732160>
- Şanlı, O. (2011). Bulut bilişim. *XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri* (s. 329-335). Malatya: Akademik Bilişim.
- Şekkeli, Z. H. (2022). Dijital dönüşüm yönetimi. F. T. Emni (Ed.), *Sosyal Beşeri ve İdari Bilimler Alanında Uluslararası Araştırmalar XV* (s. 169-188). İstanbul: Eğitim Yayınevi.
- Şekkeli, Z. H., & Bakan, İ. (2018). Akıllı fabrikalar. *Journal of Life Economics*, 5(4), 203-220. <https://doi.org/10.15637/jlecon.270>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2 Nisan 2025). *Hakkımızda*. [turkiye.gov.tr: https://www.turkiye.gov.tr/bilgilendirme?konu=siteHakkinda](https://www.turkiye.gov.tr/bilgilendirme?konu=siteHakkinda)

- T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2023). *Hakkımızda: T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi*. T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi: <https://cbddo.gov.tr/hakkimizda/>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (8 Ağustos 2024). *Türkiye 58. havalimanına kavuşuyor*. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı: <https://www.uab.gov.tr/haberler/turkiye-58-havalimanina-kavusuyor>
- TAV Technologies. (2025). *What is the airport operation control center (AOCC)?* TAV Technologies: <https://tavtechnologies.aero/en-EN/products/airport-operations/pages/aocc-airport-cocpit>
- Techividvan Team. (2023). *Sky is the limit for big data analytics in the aviation industry*. TechVidvan: <https://techvidvan.com/tutorials/big-data-aviation/>
- Trifu, M. R., & Ivan, M. L. (2014). Big data: present and future. *Database Systems Journal*, 5(1), 32-41.
- Tuncal, A., & Uslu, S. (2021). Kentsel hava hareketliliği kavramının gelişiminde iki önemli faktör: ATM ve toplum. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 23(41), 564-577.
- Turkish Airlines. (2025). *Online/mobil check-in ve biniş kartı*. Turkish Airlines: <https://www.turkishairlines.com/tr-tr/bilgi-edin/check-in/havalimanlarindaki-check-in-secenekleri/>
- Tutkunca, T. (2020). İşletmelerde Dijital dönüşüm ve ilgili bileşenlerinin analiz edilmesi üzerine kavramsal bir araştırma. *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(1), 65-75.
- Türkyılmaz, S. (2024). Dijital dönüşümün işletmeler üzerindeki etkisi. *İstanbul Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(12), 276-297.
- Tüylek, Z. (2023). 3D Baskı yöntemleri ile biyomedikal uygulamalar. A. Ateş (Ed.), *Her Yönüyle Mühendislik ve Mimarlık* (s. 77-110). Klaipeda: SRA Academic Publishing.
- TVHMD. (1924). *İlk Türk uçağı Vecihi K-VI*. Tayyareci Vecihi Hürkuş Müzesi Derneği: <https://tayyarecivecihi.com/vecihi-hurkus/hurkusun-kullandigi-102-tip-ucak/ilk-turk-ucagi-vecihi-k-vi/>
- Uladi, A. İ., & Arı, E. S. (2023). Büyük veri, büyük veri analizi ve uygulama alanları. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 9(1), 1-14.
- Uysal, Y., Kurban, S., & Çığman, M. (2023). Cumhurbaşkanlığı dijital dönüşüm ofisi ve e-yönetişim. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*(78), 211-231.
- Ünal, G., & Topçu, M. (2018). Uydu teknolojileri ve uyduya dayalı seyrüsefer ile Türkiye PBN uygulama planı. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 35-41. <https://doi.org/10.23890/SUHAD.2018.0104>

- Ünal, G., & Uluyol, Ç. (2020). Blok zinciri teknolojisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(2), 167-175. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.516990>
- UNIC Turkey. (11 Mart 2002). Milletlerarası Sivil Havacılık Anlaşması. Ankara. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://inhak.adalet.gov.tr/Resimler/Dokuman/2312020095658bm_36.pdf
- Wikipedia. (5 Mayıs 2024). Nu.D-36. Wikipedia: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nu.D-36>
- Yalçinkaya, A. (2019). Türk havayolu taşımacılığı sektörünün tarihsel gelişimi ve devlet müdahaleleri (1933-2006). *Cumhuriyet Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 15(29), 405-442.
- Yayla, O. T. (2015). Dijitalleşme çağında eşitsizlik ve ayrımcılık. *Liberal Düşünce Dergisi*(79), 43-53.
- Yertüm, U. (2017). Küreselleşmenin fordist-kitlesel üretim tarzına etkisi. *Fırat Üniversitesi Uluslararası İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 1(1), 67-88.
- Yıldırım, Y. (2019). Endüstri 4.0'a kapsamlı bir bakış: 2011'den bugüne. *Bilgi Dünyası*, 20(2), 217-249. <https://doi.org/10.15612/BD.2019.754>
- Yıldız, T. O., & Deniz Başarır, Ö. (2020). Havacılıkta operasyonel aksaklık maliyetlerinin MOORA yöntemiyle incelenmesi. *Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 3(1), 1-11.
- Yüksel, A., Eren, T., & Güven, E. (2024). Siber fiziksel sistemler alanında Türkiye'deki akademik eğilimler: Bir bibliyometrik analiz. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 5(2), 24-35. <https://doi.org/10.54047/bibttd.1530609>
- Yüksel, H. (2014). Sivil havacılığın gelişimi ve küreselleşme sürecine katkıları: Türkiye örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 5(11), 1-20.
- Zorlu, G. H., Öztürk, G. M., & Köseoğlu, A. (2018). İşletmelerde endüstri 4.0'ın stok kontrol yöntemlerine etkisi. *PressAcademia Procedia*, 7(1), 348-351. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2018.913>