



**Sosyal Bilimler
Enstitüsü**

T.C.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI
İNOVASYON VE GİRİŞİMLİK EKONOMİSİ
BİLİM DALI

HAVAYOLU TAŞIMACILIĞINDA ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI

Yüksek Lisans Tezi

SEYFETTİN BİLGİÇ

İSTANBUL, 2022

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI
İNOVASYON VE GİRİŞİMLİK EKONOMİSİ
BİLİM DALI

HAVAYOLU TAŞIMACILIĞINDA ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI

Yüksek Lisans Tezi

SEYFETTİN BİLGİÇ

Danışman: Dr. Öğr. Üy. Ceran Zeynep Zafır
Bahçekapılı

İSTANBUL, 2022

ÖZET

HAVAYOLU TAŞIMACILIĞINDA ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI

Havayolu taşımacılığı, son yüzyıl içerisinde çok büyük bir ilerleme kaydederken hem lojistik hem de ulaşım sektöründe vazgeçilmez bir konuma yükselmiştir. Ancak yüksek sermaye ihtiyacı, düşük kar marjları, sıkı regülatif önlemler, rekabetçi pazar, yüksek ve dalgalı petrol fiyatları ve çeşitli periyotlarla yaşanan küresel ekonomik krizler nedeniyle, havayolu taşımacılığı yapan firmaların ayakta kalmalarının sadece devlet sübvansiyonu ile mümkün olmayacağı, sürdürülebilir olmaları gerekliliği ortaya çıkmıştır. Havayolu taşımacılığı yapan firmalar sürdürülebilirliği özellikle endüstri 4.0 ile teknolojinin desteklediği çözümlerle sağlamaya çalışırken, bu sayede verimli, düşük maliyetli, çevresel etkileri daha az bir iş modeline doğru evrilmeye çalışmaya başlamıştır.

Bu çalışmada endüstri 4.0 ve uygulamalarının havayolu taşımacılığının sürdürülebilir olması adına, havalimanı veya uçak üreticilerinin aksine kısıtlı ve son derece dışa bağımlı bir inovatif alana sahip olmaları nedeniyle kullanım alanları ve sektörel faydaları literatür yoluyla incelenmiştir. Yeni teknolojilerin uygulamasındaki yüksek maliyet, risk, kalifiye insan kaynağı eksikliği ve regülatif engellere rağmen yatırım yapan firmaların tarihsel olarak ayrıştığı ve yakın gelecekte pozitif olarak yine ayrışıp ticari varlıklarını sürdürecekleri öngörülmektedir. Araştırma kapsamında endüstri 4.0'a dair literatür taraması yapmakla birlikte, yeni teknolojik yaklaşımlar sektörde aktif kullanımına göre örneklendirilip ve bu uygulamaların son kullanıcı olan yolculara etkisinden de bahsedilmiştir. Ayrıca dijitalleşmenin havayolu taşımacılığı yapan firmalarda sürdürülebilir bir iş yapışa ulaşmadaki öneminden bahsedilirken, bu dönüşümün sağlanmasında yaşanan sektörel zorluklara da değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Havacılık, Sürdürülebilirlik, İnovasyon, Dijitalleşme, Havacılık 4.0

ABSTRACT

INDUSTRY 4.0 APPLICATIONS IN AIR TRANSPORTATION

Air transportation has made a great progress in the last century and it has risen to a crucial position in both logistics and transportation sectors. However, it has emerged that airline companies cannot continue with only government subsidies in order to survive, they need to be sustainable due to the high capital requirement, low-profit margins, strict regulatory measures, competitive market, high and fluctuating oil prices, and the global economic crises experienced in various periods. Air transport companies have tried to ensure sustainability with solutions supported by technology with especially industry 4.0, thus trying to evolve towards an efficient, low-cost, and less environmental impact business model.

The potential benefits of industry 4.0 examined to ensure that air transportation, which, unlike airport or aircraft manufacturers, have a limited and highly dependent innovative field, is sustainable. Despite the high cost, risk, lack of qualified human resources and regulatory barriers in the application of new technologies, it is predicted that companies investing in industry 4.0 have historically diverged and will continue to be positively differentiated and commercialized in the near future. Within the scope of the research, the literature on industry 4.0 is reviewed, and new technological approaches are exemplified according to both use in the sector and the possible usage areas, and the effects of these applications on end-user passengers are also mentioned. Also, the importance of digitalization in achieving sustainable business conduct in airline companies and the difficulties experienced in ensuring this transformation are mentioned.

Keywords: Industry 4.0, Aviation, Sustainability, Innovation, Digitalization, Aviation 4.0

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını, zamanını ve bilgisini esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üy. Ceran Zeynep Zafır Bahçekapılı hocama sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tüm süreç boyunca yanımda olan ve tez çalışmasına bilgi birikimi ile destek vererek yayımlanabilir hale gelmesini sağlayan, iyi ve kötü zaman yoldaşım sevgili Başak Karagöl'e, havacılığın zorlu zamanlarında destek olan, sektörel bilgi ve deneyimi ile çalışmaya büyük katkıda bulunan Plt. Tolga Yılmaz'a, hayatımın en kritik safhalarında yanımda olan hem havacılık sektörü hem de yüksek lisans için beni teşvik eden kadim dostum Dr. M. Cihad Alkış'a teşekkürü bir borç bilirim. İyi ki varsınız.

“When once you have tasted flight, you will forever walk the Earth with your eyes turned skyward”
– Leonardo da Vinci

Seyfettin BİLGİÇ
İstanbul, 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR	vii
TABLOLAR LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
GRAFİKLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ.....	1
BÖLÜMLER	3
BİRİNCİ BÖLÜM.....	3
1. ENDÜSTRİ DEVRİMİ	3
1.1. Endüstri Devrimlerinin Tarihsel Gelişimi	3
1.1.1. Endüstri 1.0	4
1.1.2. Endüstri 2.0	4
1.1.3. Endüstri 3.0	5
1.1.4. Endüstri 4.0	5
1.1.4.1. Endüstri 4.0'ın Temel Özellikleri	6
1.1.4.1.1. Birlikte Çalışabilirlik: Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri	6
1.1.4.1.2. Sanallaştırma: Simülasyon ve Dijital İkiz	6
1.1.4.1.3. Otomasyon: Hiperotomasyon.....	6
1.1.4.2. Endüstri 4.0'ın Faydaları.....	7
1.1.4.2.1. Kalite, Verimlilik ve Ekonomi	7
1.1.4.2.2. İnsan Kaynağı, İş Olanakları ve Eğitim.....	8
1.1.4.2.3. İnsan Sağlığı	9
1.1.4.2.4. Rekabet	9
1.1.4.2.5. Çevresel Etki	10
1.1.4.3. Endüstri 4.0'ın Zorlukları.....	10
1.1.4.4. Endüstri 4.0 Uygulamaları.....	12
1.1.4.4.1. Nesnelerin İnterneti ve Nesnelerin Endüstriyel İnterneti	13
1.1.4.4.2. Büyük Veri	15
1.1.4.4.3. Bulut Bilişim	18
1.1.4.4.4. Otonom Robotlar	20
1.1.4.4.5. Üç Boyutlu Baskı	21

1.1.4.4.6.	Artırılmış ve Sanal Gerçeklik.....	22
1.1.4.4.7.	Diğer Uygulamalar	23
1.1.5.	Endüstri 5.0 / Toplum 5.0.....	26
İKİNCİ BÖLÜM		28
2.	HAVACILIKTA ENDÜSTRİ DEVRİMİ.....	28
2.1.	Havacılık Endüstri Devrimi.....	28
2.1.1.	Havacılık 1.0	29
2.1.2.	Havacılık 2.0	31
2.1.3.	Havacılık 3.0	35
2.1.4.	Havacılık 4.0	39
2.1.4.1.	Havacılık 4.0 Dönemindeki Gelişmeler	39
2.1.4.1.1.	Veri, Dijitalleşme ve Bağlantı	39
2.1.4.1.2.	Otomasyon.....	41
2.1.4.1.3.	İnsansız Hava Araçları ve Kentsel Hava Hareketliliği.....	42
2.1.4.1.4.	Elektrifikasyon ve Yeşil Enerji	43
2.1.4.1.5.	Tasarım.....	46
2.1.4.1.6.	Regülasyon ve Güvenlik.....	48
2.1.4.1.7.	Ticari Uzay Taşımacılığı	50
2.1.4.2.	Havacılık 4.0'ın Zorlukları.....	53
2.1.4.2.1.	Siber Güvenlik.....	53
2.1.4.2.2.	Kalifiye Personel	54
2.1.4.2.3.	İklim Değişikliği.....	54
2.1.4.2.4.	Jeopolitik ve Ekonomik Belirsizlikler	56
2.1.4.3.	Havacılık 4.0'ın Uygulanabilirliği.....	57
2.2.	Havayolu Taşımacılığı Yapan Firmalarda Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Olası Faydaları ...	58
2.2.1.	İnsansız Hava Araçları – Otonom Görsel Kontrol	59
2.2.2.	Blokszinciri – Veri Yönetimi.....	60
2.2.2.1.	Kimlik ve Sertifikasyon Yönetimi.....	61
2.2.2.2.	Müşteri Sadakat Programları.....	62
2.2.2.3.	Ödeme ve Akıllı Kontratlar	62
2.2.2.4.	Anlık Bagaj, Kargo ve Operasyon Takibi	64
2.2.2.5.	Bakım, Onarım ve Revizyon Kayıtları	64
2.2.3.	Üç Boyutlu Baskı – Yedek Parça	65
2.2.4.	Büyük Veri – Müşteri Deneyimi	66
2.2.5.	Makine Öğrenmesi – Kestirimci Bakım.....	66
2.2.6.	Artırılmış ve Sanal Gerçeklik –Pilotaj Eğitimi.....	67
SONUÇ		69
KAYNAKLAR		71

KISALTMALAR

3D	Three-dimensional, Üç Boyutlu
3G	Third Generation, Üçüncü Nesil
4G	Fourth Generation, Dördüncü Nesil
5G	Fifth Generation, Beşinci Nesil
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AEEC	Airlines Electronic Engineering Committee, Havayolları Elektronik Mühendisliği Komitesi
AI	Artificial Intelligence, Yapay Zeka
ANA	All Nippon Airways, All Nippon Havayolları
API	Application Programming Interface, Uygulama Programlama Arayüzü
AR	Augmented Reality, Artırılmış Gerçeklik
ATAG	Air Transport Action Group, Hava Taşımacılığı Eylem Grubu
ATD	Airspace Technology Demonstration, Hava Sahası Teknoloji Gösterimi
ATM	Air Traffic Management, Hava Trafik Yönetimi
ATTOL	Autonomous Taxi, Take-Off and Landing, Otonom Taksi, Kalkış ve İniş
BCG	The Boston Consulting Group, Boston Danışmanlık Grubu
CAF	Conventional Aviation Fuels, Konvansiyonel Havacılık Yakıtları
CEO	Chief Executive Officer, Genel Müdür
CES	Consumer Electronics Show, Tüketici Elektronik Fuarı
CO2	Carbon Dioxide, Karbon Dioksit
CPPS	Cyber-physical Production System, Siber-fiziksel Üretim Sistemi
CPS	Cyber-physical System, Siber-fiziksel Sistem
CRED	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkez
CRM	Crew Resource Management, Ekip Kaynak Yönetimi
DCA	Digital Certification Authority, Dijital Sertifika Otoritesi
DIY	Do It Yourself, Kendin Yap
DNA	Deoksiribonükleik asit
EASA	European Union Aviation Safety Agency, Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı
ELV	Expendable Launch Vehicle, Harcanabilir Fırlatma Aracı
EM-DAT	Emergency Events Database, Acil Durum Veri Tabanı

ES	Embedded Systems, Gömülü Sistemler
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation, Avrupa Sivil Havacılık Konferansı
eVTOL	Electric Vertical Take-Off and Landing, Elektrikli Dikey Kalkış ve İniş Aracı
EY	Ernst & Young
FAA	Federal Aviation Administration, Federal Havacılık İdaresi
FSTD	Flight Simulation Training Device, Sentetik Uçuş Eğitim Cihazı
GDS	Global Distribution System, Küresel Dağıtım Sistemi
GE	General Electric
GNSS	Global Navigation Satellite Systems, Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi
GPS	Global Positioning System, Küresel Konumlandırma Sistemi
GPT-3	Generative Pre-trained Transformer 3, Üretken Ön İşlemeli Dönüştürücü 3
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GTAI	Germany Trade and Invest
IaaS	Infrastructure as a Service, Hizmet Olarak Altyapı
IATA	The International Air Transport Association, Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği
ICAO	International Civil Aviation Organization, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
ICCT	International Council on Clean Transportation, Uluslararası Temiz Ulaştırma Konseyi
IFR	Instrument Flight Rules, Alet Uçuş
IIoT	Industrial Internet of Things, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti
ILS	Instrument Landing System, Aletli İniş Sistemi
IoT	Internet of Things, Nesnelerin İnterneti
İHA	İnsansız Hava Aracı
LCD	Liquid-crystal Display, Sıvı Kristal Ekran
LTE	Long Term Evolution, Uzun Vadeli Evrim
M2M	Machine to Machine, Makineden Makineye
MaaS	Mobility as a Service, Hizmet Olarak Mobilite
MR	Mixed Reality, Karma Gerçeklik
MRO	Maintenance, Repair & Overhaul, Bakım Onarım ve Revizyon
MRSs	Multi-robot Systems, Çoklu Robot Sistemleri
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics, Ulusal Havacılık Danışma Komitesi
NASA	National Aeronautics and Space Administration, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NM	Nautical Mile, Deniz Mili
NOx	Nitrogen Oxides, Azot Oksitler
NSDD	National Security Decision Directive, Ulusal Güvenlik Karar Direktifi

OECD	Organization for Economic Co-operation and Development, Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OEM	Original Equipment Manufacturer, Orijinal Ekipman Üreticisi
OIG	Office of Inspector General, Genel Müfettişlik Ofisi
OOPD	Owner/Operator-Produced Parts
P&W	Pratt & Whitney
PaaS	Platform as a Service, Hizmet Olarak Platform
PAV	Passenger Air Vehicle, Yolcu Hava Aracı
PMA	Parts Manufacturer Approval, Parça Üretici Onayı
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
RVL	Reusable Launch Vehicles, Yeniden Kullanılabilir Fırlatma Sistemi
SaaS	Software as a Service, Hizmet Olarak Yazılım
SAF	Sustainable Aviation Fuels, Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı
SORCERER	Structural Power Composites For Future Civil Aircraft
UAM	Urban Air Mobility, Kentsel Hava Hareketliliği
UAS	Unmanned Aircraft Systems, İnsansız Uçak Sistemleri
UAV	Unmanned Air Vehicle, İnsansız Hava Aracı
ULD	Unit Load Device, Birim Yükleme Aracı
Vd.	Ve Diğerleri
VFR	Visual Flight Rules, Görerek Uçuş
VHF	Very High Frequency, Çok Yüksek Frekans
VOR	Very high frequency Omni-directional Range
VR	Virtual Reality, Sanal Gerçeklik
WIFI	Wireless Fidelity, Kablosuz Bağlantı Alanı
WMO	World Meteorological Organization, Dünya Meteoroloji Örgütü

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Endüstri Devrimlerinin Temel Özellikleri	4
Tablo 1.2. Bulut Hizmet Modelleri Karşılaştırması	19
Tablo 2.1. Havacılık Endüstri Devriminin 4 Aşaması.....	29
Tablo 2.2. Yapay Zeka Uygulamalarının Amaçları ve Faydaları.....	40



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Nesnelerin İnterneti ve Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Kullanım Alanları	15
Şekil 1.2. İnternette Bir Dakikada Üretilen Veri Miktarı	16
Şekil 1.3. Sanal Sürekliliğinin Basitleştirilmiş Temsili	23
Şekil 2.1. Havacılık Paydaşları.....	59



GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1.1. Endüstri 4.0'ın Şirketlerde En Büyük Etkisi Olacağı Alanlar	8
Grafik 1.2. Büyük Veri Girişimlerinin Uygulanmasında Güvenliği En Büyük Zorluk Olarak Adlandıran Şirketler (%)	12
Grafik 1.3. Dünyada Bağlı Cihaz Sayısı (Milyar Adet)	14
Grafik 1.4. Üç Boyutlu Yazıcı Pazar Tahmini (Milyar \$).....	22
Grafik 2.1. 1905 Yılında Wright Kardeşlerin Yaptığı Uçuşlar ve Yapılan Modifikasyonlar.....	30
Grafik 2.2. Havacılık 1.0 Dönemine Ait Uçak Hız Rekorları	31
Grafik 2.3. Almanya'da II. Dünya Savaşı Öncesi Askeri Uçak Üretimi	33
Grafik 2.4. Havacılık 1.0 ve 2.0 Dönemlerine Ait Uçak İrtifa Rekorları	35
Grafik 2.5. Havayolu Taşımacılığında Tarihsel Fiyat Gelişimi.....	37
Grafik 2.6. Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı Kullanım Tahmini 2025-2040	45
Grafik 2.7. Uçaklarda Hidrojen Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkisi 2020-2050	46
Grafik 2.8. Yıllara Göre Hava Kazası Ölümleri	50
Grafik 2.9. Yıllara Göre Uzay Uçuşunun Maliyeti.....	52

GİRİŞ

Günümüzde endüstriyel üretim, küresel rekabet ve üretimin sürekli değişen pazar taleplerine hızlı bir şekilde adapte edilmesi ihtiyacı tarafından yönlendirilmektedir. Bu gereksinimler ancak mevcut üretim teknolojisindeki radikal değişimlerle karşılanabilmektedir. Endüstri 4.0 ile dijitalleşme ve yeni teknolojilerden yararlanarak endüstriyel üretimin dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Amaç, üretim sürecinde insanlar ve ürünler arasında gerçek zamanlı ve kişiselleştirilmiş esnek bir üretim modeli kurmaktır.

İlk üç endüstri devriminde insanlar, endüstriyel süreçlerin verimliliğini artırmayı amaçlayan mekanik, elektronik ve bilgi teknolojilerine tanık olmuş ve onları yaratmışlardır. Endüstri 1.0, hidroelektrik kullanımı, buhar gücünün artan kullanımı ve takım tezgahlarının geliştirilmesi yoluyla verimliliği artırmıştır. Endüstri 2.0, elektrik ve seri üretim yani montaj hatları kullanılmaya başlanmıştır. Endüstri 3.0, elektronik ve bilgi teknolojisini kullanarak otomasyonu daha da hızlandırmıştır. Endüstri 4.0'dan 5 sene sonra Japonya'da endüstri 5.0 (Toplum 5.0) tanıtılmıştır. Endüstri 4.0'dan farklı olarak endüstri 5.0, insanı merkeze alırken sosyal faydalar gibi değerlere odaklanıp üretimin gezegenin sınırlarına saygı duyularak yapılması sağlarken, istihdam ve büyümenin ötesini hedeflemektedir.

Endüstri 4.0 teknolojileri havacılık endüstrisinde yaratıcı yıkım potansiyeline sahiptir ve onu yalnızca daha verimli değil, aynı zamanda daha güvenli hale getirmek için yeni mekanizmalar üretmektedir. Havacılık 4.0 olarak adlandırılan bu yeni dönem, hava taşımacılığının tüm önemli performans alanlarını iyileştirmeye yardımcı olma potansiyeline sahiptir. Özellikle, risklerinin hem çok yüksek hem de çok büyük alanı etkileyebildiği ve marjlarının son derece dar olduğu bu sektörde bu iyileştirmeler fırsat anlamına gelmektedir.

Çalışmanın amacı, havayolu taşımacılığı yapan firmalarda kullanılan ve kullanılması muhtemel endüstri 4.0 teknolojileri ve bunların muhtemel faydalarını tespit etmektir. Çalışmanın kapsamı, uygulamaya geçen ve sadece konsept olarak kalmayan teknolojilere odaklanırken, bu teknolojilerin genel havacılık kullanımları yerine, özellikle uçak üretiminde ve havalimanı operasyonlarında alternatif uygulamaların ve yapılan akademik çalışmaların yüksek olması sebebiyle, çalışma sadece havayolu firmaları olarak sınırlandırılmıştır. Çalışmanın hazırlanmasında literatür taraması yöntemi kullanılmakla birlikte, kısıtlı olmakla birlikte havayolu taşımacılığında endüstri 4.0 uygulamalarının kullanılabileceği ve bu sayede sürdürülebilir kalılabileceği savunulmuştur. Çalışma iki bölümden oluşmaktadır; birinci bölümde,

endüstri devrimlerinin tarihsel süreçteki evriminden bahsederken ikinci bölümde ise havayolu firmalarında inovasyon, havacılık 4.0 ve bu devrime ait teknolojik uygulama örneklerinden bahsedilmiştir.



BÖLÜMLER

BİRİNCİ BÖLÜM

1. ENDÜSTRİ DEVRİMİ

1.1.Endüstri Devrimlerinin Tarihsel Gelişimi

Endüstri veya sanayi, maddeleri işleyip kullanılacak ürünler durumuna getirmeye yarayan bilgi, ekipman ve yöntemlerin tümünü ifade etmektedir. Ürünlerin üretilme şeklini ve değer yaratmadaki üretkenlik derecesini çarpıcı biçimde değiştirerek endüstriyel performans düzeylerini yeniden tanımladıkları için bunlara devrim denmektedir (Kahraman, Aydın 2022: 4). Teknoloji ve küreselleşmeyle birlikte, üretimde karşılaşılan zorlukları aşmak adına yeni yöntemler keşfedilmeye çalışılmış ve bu yöntemlerden hem yaygın hem de iş yapış şekillerini tamamen değiştirenler beş farklı aşamada değerlendirilmiştir. Tablo 1.1’de görüldüğü gibi her bir dönem kendine has yer, yöntem ve kaynaklara sahip olsa da dönemler arası geçişkenlik bilimin doğası gereği mevcuttur. Çalışmada her dönemden ve bu döneme ait tarihsel gelişimden bahsedilecek olsa da içinde bulunulan dönem olan endüstri 4.0 temel odaklanılan dönemdir.

Tablo 1.1. Endüstri Devrimlerinin Temel Özellikleri

	Dönem	Çıkış Ülkesi	Enerji Kaynağı	Başlıca Teknolojik Gelişim	Başlıca Gelişmiş Sektörler	Ulaşım
Endüstri 1.0	1760-1900	İngiltere	Kömür	Buhar Makinası	Tekstil, Demir	Tren
Endüstri 2.0	1900-1960	İngiltere, Almanya, Amerika	Petrol, Elektrik	İçten Yanmalı Motorlar	Metalürji, Otomotiv, Makina Yapım	Tren, Otomobil
Endüstri 3.0	1960-2000	Amerika	Nükleer Enerji, Doğal Gaz	Bilgisayarlar, Robotlar	Otomotiv, Kimya	Otomobil, Uçak
Endüstri 4.0	2000- ...	Almanya	Yeşil Enerji	İnternet, Üç Boyutlu Baskı, Genetik Mühendisliği	Yüksek Teknoloji Endüstrileri	Elektrikli Otomobil, Yüksek Hızlı Tren
Toplum 5.0	2016- ...	Japonya	Yeşil Enerji	Siber-fiziksel Alanlar, Yapay Zeka, Metaverse	Sağlık, Enerji, Tarım	Otonom Araçlar

Kaynak: Yazar, Prisecaru, P. (2016), "Challenges of the Fourth Industrial Revolution." *Knowledge Horizons - Economics*, 8/1: 57-62.

1.1.1. Endüstri 1.0

İlk üç endüstri devriminde insanlar, endüstriyel süreçlerin verimliliğini artırmayı amaçlayan mekanik, elektrik ve bilgi teknolojilerini yaratmışlardır (Zhou, Liu, Zhou 2015: 2147). 17. yüzyılın sonlarına doğru İngiltere’de buhar makinasının icadı, su ve buharın üretim süreçlerinde kullanılmaya başlanmasıyla 1. Endüstri devrimi başlamıştır. İlk etapta tekstil ve ulaşım olmak üzere sonrasında tüm sektörlerde zamanla yaygınlaşmasıyla birlikte, insan gücüne dayalı üretimden makine bazlı üretime geçilmiştir. Bu zaman ve maliyetten tasarruf sağlarken, aynı zamanda insan yaşam kalitesinin artırması ve köyden kente göç gibi sosyolojik sonuçlar da doğurmuştur.

1.1.2. Endüstri 2.0

İkinci endüstri devrimi 1900 yılında içten yanmalı motorun icadıyla başlamış ve bu, seri üretime güç sağlamak için petrol ve elektriği kullanan hızlı bir sanayileşme çağına yol açmıştır (Xu, David, Kim 2018: 90). Daha önceden de bilindiği halde çıkarmak için yeterli teknoloji bulunmadığından temini zor olan petrole erişim kolaylaşmış, taşınması ve depolanması zor, verimliliği görece düşük olan kömürün yerini hızlıca almıştır. İçten yanmalı motorların hem otomotiv hem de fabrikalarda üretimde kullanım

kolaylığı hem seri üretimin önünü açmış hem de ulaşım kolaylığı sağlamıştır. Amerikan Ford'un seri üretim montaj bantları dönemi ve devrimi temsil etmesi açısından kritik olmakla birlikte, artan nüfus ile birlikte yükselen talebi hızlı ve sorunsuzca karşılamak için Toyota yalın üretim sistemini geliştirmiştir. Demir yerine çelik kullanımının yaygınlaşması, kimya sanayinin gelişmesi ve telefonun icadı da ikinci endüstri devriminin önemli gelişmeleri olarak yer almıştır.

1.1.3. Endüstri 3.0

1960'lı yılların başında bilgi teknolojilerinde özellikle mikroşlemcilerde yaşanan hızlı gelişim üçüncü endüstri devriminin sonucudur. Mikroşlemcilerin birçok alanda etkisi olmuştur; hesaplama, kelime işlem, çizim ve grafik tasarım, makinelerin düzenlenmesi ve kontrol edilmesi, süreçlerin simülasyonu, bilgi edinimi ve işlenmesi, parasal işlemler ve telekomünikasyon bu alanların başında yer almıştır (Smith 2014).

İletişim ve ulaşım araçlarının teknolojiyle beraber gelişmesi, dünya savaşları gibi toplu kaynakları tüketen olayların yaşanmaması, nüfusun ve tüketimin hızlı artışı ve Berlin duvarının yıkılıp küreselleşmenin de hız kazanmasıyla üçüncü endüstri devrimi, tedarik zincirlerinin gelişmesine ve dünyanın tek bir pazar olarak üretim süreçlerinin farklılaşmasına sebep olmuştur. Üretim ve dağıtımdaki bu değişim, tüketim anlayışı farklılaşan müşterilere kişiye özel ürün üretimini sağlamıştır. Fosil yakıt tabanlı endüstri devrimlerinin ekonomik, sosyal ve siyasi yaşamının büyük bir kısmını nitelendiren toplumun geleneksel yukarıdan aşağı organizasyonu, yükselen yeşil sanayi döneminde dağıtık ve iş birliğine dayalı ilişkilere yol açmıştır (Rifkin 2013: 56).

1.1.4. Endüstri 4.0

Endüstri 4.0 tanımı ilk olarak 2011 yılında Hannover Messe ticaret fuarında tanıtılmış ve Alman federal hükümeti tarafından kurulan bir Endüstri 4.0 çalışma grubunun konusu olmuştur. Germany Trade and Invest (GTAI), endüstri 4.0'ı şu şekilde tanımlar:

“Geleneksel üretim süreci mantığının tersine çevrilmesini oluşturan teknolojik gelişmelerin mümkün kıldığı bir paradigma kaymasıdır. Bu, endüstriyel üretim makinelerinin artık ürünü basitçe işlemediği, ancak ürünün tam olarak ne yapacağını söylemek için makineyle iletişim kurduğu anlamına gelir.” (Sniderman, Mahto, Cotteleur 2016: 4).

Dördüncü endüstri devrimi, insan müdahalesi olmadan otonom olarak bilgi paylaşabilen, eylemleri etkinleştirebilen ve birbirini kontrol edebilen akıllı makineler, depolama sistemleri ve üretim tesisleri

çağıdır (Kahraman, Aydın 2022: 4). Amacı, üretim sürecinde insanlar, ürünler ve cihazlar arasında gerçek zamanlı etkileşimler ile kişiselleştirilmiş ve dijital ürün ve hizmetlerden oluşan oldukça esnek bir üretim modeli oluşturmaktır (Zhou, Liu, Zhou 2015: 2147).

1.1.4.1. Endüstri 4.0'ın Temel Özellikleri

1.1.4.1.1. Birlikte Çalışabilirlik: Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri

Siber-fiziksel üretim sistemleri, süreçlerden makinelere, üretim ve lojistik ağlara kadar tüm üretim seviyelerinde ve duruma bağlı şekillerde birbirleriyle bağlantı kuran özerk ve işbirlikçi unsurlar ve alt sistemlerden oluşmaktadır. Operasyonlarını modellemek ve ayrıca ortaya çıkan davranışlarını tahmin ederken her seviyede sistem kontrolü sağlayıp, temel ve uygulamaya yönelik araştırma görevini üstlenmektedir (Monostori 2014: 10).

1.1.4.1.2. Sanallaştırma: Simülasyon ve Dijital İkiz

Mühendislik aşamasında, ürünlerin, malzemelerin ve üretim süreçlerinin üç boyutlu simülasyonları halihazırda kullanılmaktadır, ancak gelecekte simülasyonlar üretim süreçlerinde daha yaygın olarak kullanılacağı varsayılmaktadır. Bu, kullanıcıların fiziksel değişimden önce sanal dünyada sıradaki bir sonraki ürün için makine ayarlarını test etmelerini ve optimize etmelerini sağlarken, böylece makine kurulum sürelerini kısaltıp ve kaliteyi artıracaktır (BCG 2015: 7).

Dijital ikiz, fiziksel bir nesneyi, ürünü veya süreci yansıtmak için tasarlanmış sanal bir modeldir. Gerçek dünyada, fiziksel şeyin çalışma koşullarını anlamak için sensörler yardımıyla toplanan gerekli veriler kullanılarak bir dijital kopya üretilir. Bu yöntemle oluşturulan dijital kopya, simülasyonları çalıştırmak, performans sorunlarını incelemek ve olası iyileştirmeler oluşturmak için kullanılabilir. Bunların tümü, daha sonra orijinal fiziksel nesneye geri uygulanabilecek olan değerli iç görüler üretme hedefiyle gerçekleştirilebilecektir (IBM 2020).

Simülasyonlar ve dijital ikizler, bir sistemin çeşitli süreçlerini kopyalamak için dijital modelleri kullansalar da dijital ikiz aslında sanal bir ortamdır ve bu da onu çalışma için önemli ölçüde zenginleştirir. Dijital ikiz ve simülasyon arasındaki fark büyük ölçüde bir ölçek meselesidir: Bir simülasyon tipik olarak belirli bir süreci incelerken, bir dijital ikiz birden fazla süreci incelemek için herhangi bir sayıda faydalı simülasyon çalıştırabilir (IBM 2020).

1.1.4.1.3. Otomasyon: Hiperotomasyon

Hiperotomasyon, yapay zeka, makine öğrenimi ve robotik süreç otomasyonu gibi gelişmiş teknikleri

birleştirerek, otomasyonun sanal görevleri gerçekleştirmesini sağlar. Bu, otomasyon süreçlerini dinamik olarak algılayıp, oluşturup bir sonraki aşamaya taşır. şirketlerin iş zekası sistemlerini birleştirmesine, karmaşık ihtiyaçları üstlenmesine ve insan uzmanlığını ve otomasyon deneyimini artırmasına olanak tanımaktadır (Haleem vd. 2021: 1).

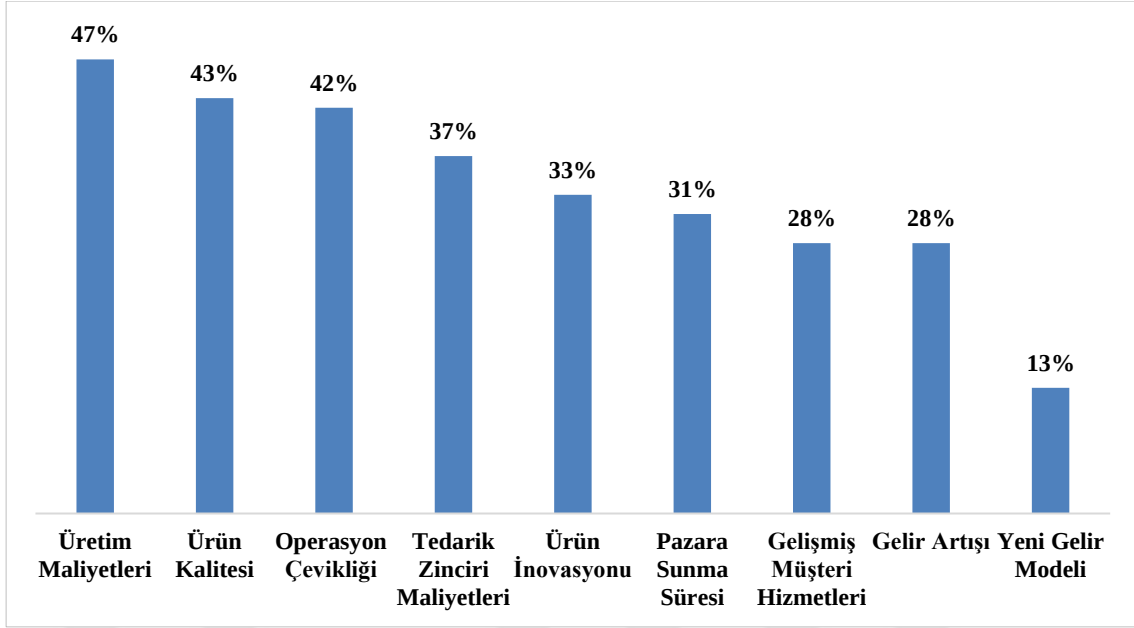
1.1.4.2. Endüstri 4.0'ın Faydaları

1.1.4.2.1. Kalite, Verimlilik ve Ekonomi

Üretimin oldukça esnek ve aynı zamanda kaynakların kullanımı açısından çok daha verimli hale geleceği düşünülmektedir. Aynı retim tesisinde çeşitli ürünlerin üretilmesini sağlayan esnek, yalın ve evik bir üretim süreci sağlanabilir. Almanya'da Endüstri 4.0 ile %5-%8 arasında üretimde verimlilik artışı beklenirken, bunun finansal etkisinin 90-150 milyar € olacağı düşünülmektedir (BCG 2015: 2). Kitlesele üretimlerde olduğu gibi kişiye özel ürünlerin de aynı maliyetle üretilmesi mümkün olabilmektedir.

Gerçek zamanlı olarak uçtan uca şeffaflık sağlayarak, mühendislik alanındaki tasarımı kararlarının erken doğrulanmasına ve bir şirketin üretim alanındaki tüm tesislerinde hem aksamalara daha esnek yanıtlar hem de küresele optimizasyona olanak tanınabilir. Endüstri 4.0 ile üretim süreçlerinin tüm değer ağının duruma göre optimize edilmesi sağlanabilir. Ayrıca, retimi durdurmak zorunda kalmak yerine, sistemler üretim sırasında kaynak ve enerji tüketimleri açısından sürekli olarak optimize edilebilir ve emisyonların azaltılması sağlanabilir (Kagermann 2013: 16).

şirketler açısından bakıldığında The Boston Consulting Group'un 2016 yılında yapımış olduğu "Endüstri 4.0'ın şirketinizdeki Hangi Alanda En Büyük Etkisi Olacağını Düşünüyorsunuz?" alışması etkin sonuçlar barındırmaktadır. Grafik 1.1'de görüldüğü gibi alışmaya katılanların %47'si endüstri 4.0 uygulamalarının üretim maliyetlerini düşüreceğini düşünürken, %43' genel ürün kalitesinde artış beklemektedir. En az etkinin beklendiği alan ise %13 ile yeni gelir modeli olmuştur.



Grafik 1.1. Endüstri 4.0'ın Şirketlerde En Büyük Etkisi Olacağı Alanlar

Kaynak: The Boston Consulting Group (2016), “Sprinting The Value in Industry 4.0”, BCG.

1.1.4.2.2. İnsan Kaynağı, İş Olanakları ve Eğitim

Endüstri 4.0 ile birlikte manuel ve tekrar eden işlerin otomatize edilmesi ile birlikte düşük nitelikli işlerde çalışan kişilerin işsiz kalma ihtimali ortaya çıkmıştır. Gelişmiş robotların, duyu ve el becerisi kazanarak daha geniş kapsamlı manuel görevleri gerçekleştirmelerine de olanak tanımaktadır (Frey, Osborne 2013: 44). Ancak nitelikli işgücü sıkıntısı ve işgücünün artan çeşitliliği karşısında, endüstri 4.0, insanların çalışmaya devam etmelerini ve daha uzun süre üretken kalmalarını sağlayacak çeşitli ve esnek kariyer yolları sağlayacaktır (Kagermann 2013: 16). Çünkü dünyanın dört bir yanındaki ülkelerin hedeflediği kişi başına düşen GSYİH artışını sağlamak için insanların makinelerle birlikte çalışmaya devam etmesi gerekmektedir (McKinsey 2017: 3). Yeni teknolojiler, imalatla devrim yaratmayı, böylece ülkeler arasındaki rekabet dengesini değiştirmeyi ve endüstriyel işgücünü dönüştürmeyi vaat etmektedir (BCG 2016: 3).

Tek başına internetin dönüştürdüğü iş alanları bile endüstri 4.0 ile birlikte yaşanan ve yaşanacak olan dönüşüm için bir temel oluşturabilir. Örneğin, 2011 yılında McKinsey'nin tarafından yürütülen bir araştırma, Fransa'da son 15 yılda internetin ortaya çıkışı nedeniyle kaybedilen her iş için 2,4 yeni iş yaratıldığını göstermiştir (McKinsey 2011: 4).

Yeni teknolojiler, hem çalışanların iş ve yetkinlik profilleri açısından hem de iş yapış şekilleri açısından

köklü değişimlere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, uygun eğitim stratejilerini uygulamak ve çalışmayı öğrenmeyi teşvik edecek, yaşam boyu öğrenmeyi ve işyerlerinde endüstri 4.0 tabanlı siber-fiziksel sistemleri mümkün kılacak şekilde organize etmek gerekli olacaktır. Bunu başarmak için model projeler ve en iyi uygulama ağları teşvik edilmeli ve dijital öğrenme teknikleri araştırılmalıdır (Kagermann 2013: 6). Özellikle, çalışma ve eğitim ile ilgili, yeni müfredat ihtiyacından ve yükseköğretimin güncellenmesinden herkes için temel gelir tartışmasına kadar, ulusal ve Avrupa politikalarından, örgütlerden ve sendika politikalarından çalışmalar beklenmektedir (Ghislieri, Molino, Cortese 2018: 4).

1.1.4.2.3. İnsan Sağlığı

Son yıllarda iş sağlığı ve güvenliği konusu hem regülatif hem de sosyal farkındalık olarak gündemde olsa da bazı sektörlerde çalışanların hayati riskleri halen belirli ölçülerde devam etmektedir. Bunu minimize etmek ya da ortadan kaldırmak için endüstri 4.0 ile birlikte gelişen teknolojiler kullanılabilir. Yüksekte çalışma, yangın eğitimi ve vaka analizi gibi birçok aktiviteyi sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamaları ile çalışanlara aktarmak ve klasik yöntemle göre daha iyi performans elde etmek mümkündür (Tepe 2021: 126). Örneğin, robotlara fiziksel, yorucu görevler vererek, insan işgücü yaralanmaları azaltabilir, daha uzun süre sağlıklı kalınabilir ve çalışanların boş zamanlarından daha iyi yararlanabilecekleri bir yaşama sahip olunabilir (Wilkins 2018). Microsoft Japonya’da deneysel olarak haftada 4 günlük çalışma düzenine geçmiş ve olumlu sonuçlar almıştır. 2300 çalışanın verimliliği %40 arttığı, enerji kullanımı %23 ve kâğıt kullanımı %59 azaldığı tespit edilmiş, işçilerin %92’si deneyden memnun kaldığı ve 4 günlük olarak çalışmaya devam etmek istediği belirtilmiştir (Szabó-Szentgróti, Végvári, Varga 2021: 7).

1.1.4.2.4. Rekabet

Endüstri 4.0 ile birlikte üreticiler ve pazar arasında artık daha düşük engeller mevcuttur. Bugün, bir buluşu veya iyi tasarımı olan herkes, o ürünün üretilmesi için üç boyutlu baskı gibi giderek daha güçlü dijital üretim araçlarıyla kendi üretimlerini yapabilir (Anderson 2012: 18). Üç boyutlu baskı gibi yeni teknolojiler, yeni fikirleri olan girişimcilerin daha düşük başlangıç maliyetleriyle küçük şirketler kurmasına olanak tanımaktadır. Girişimci, geleneksel prototip yöntemleriyle sıklıkla karşılaşılan zaman kısıtlamaları olmadan ürünü üç boyutlu baskı ile gerçekleştirebilmektedir (Xu, David, Kim 2018: 92).

Endüstri 4.0 ile birlikte üretimde maliyet azalışı ucuz iş gücüne dayalı rekabete odaklanmış Uzakdoğu Asya ülkeleri ile gelişmekte olan piyasalar açısından kayba yol açabileceği düşünülmektedir. Endüstri 4.0 ile birlikte rekabet avantajını yitirmiş gelişmiş pazar ekonomilerinin (ABD, Almanya, Japonya gibi) yeniden öne çıkma ihtimali güçlenmiştir (Alçın 2016: 22).

1.1.4.2.5. Çevresel Etki

Dünya nüfusu 2050 yılında 9.7 milyara çıkarken, %66'sının şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir (Ashrae 2018: 5). Artan nüfus, şehirleşme ve IoT (Internet of Things, Nesnelerin Interneti) ile birlikte artan elektronik cihaz kullanımının sonucunda, dramatik şekilde artan enerji ihtiyacının sürdürülebilir olması için, hem endüstri 4.0 ile birlikte gelen teknolojilerin yardımıyla etkin enerji kullanımı hem de yenilenebilir enerji ile sonsuz olmayan, negatif çevresel etkileri yüksek fosil yakıt tüketiminin azaltılması mümkündür. Kullanılacak olan teknolojiye ve sektöre bağlı olarak enerji verimliliği yüksek birçok inisiyatiften bahsetmek mümkündür. Örneğin, devasa veri merkezi tarlalarını barındıran Google, geliştirdiği DeepMind adlı yapay zeka sayesinde, veri merkezlerini soğutmak için kullanılan enerjiyi %40 oranında azaltmıştır (Evans, Gao 2016). Bunun dışında, elektrikli otonom araçlardan, akıllı evlerden, sıfır atık yaklaşımından bahsetmek mümkündür.

1.1.4.3. Endüstri 4.0'ın Zorlukları

Her çağ, bir önceki çağın işlerini yok ederken bilgi çağı da endüstri çağının yarattığı işlerin yerini almıştır. Endüstri çağındaki işlerde yaşanan kayıpların çoğu, hükümet politikası ve serbest ticaret anlaşmalarından çok, ekonomideki bilgi işçisine dramatik bir geçişle ilgili olmuştur (Xu, David, Kim 2018: 91).

Frey ve Osborne'ın çalıştığı modelde, bilgisayarlaşmanın temel olarak düşük vasıflı ve düşük ücretli mesleklerle sınırlı olmasıyla, işgücü piyasası kutuplaşmasına yönelik mevcut eğilimde bir kesinti öngörmektedir. Dolayısıyla bulgular, teknoloji ilerledikçe, düşük vasıflı çalışanların bilgisayarlaşmaya duyarlı olmayan yaratıcı ve sosyal zeka gerektiren görevlere yeniden tahsis edileceğini göstermiştir. Bu sebeple işçilerin yarışı kazanması için yaratıcı ve sosyal beceriler kazanmaları gerekmektedir (Frey, Osborne 2013: 45).

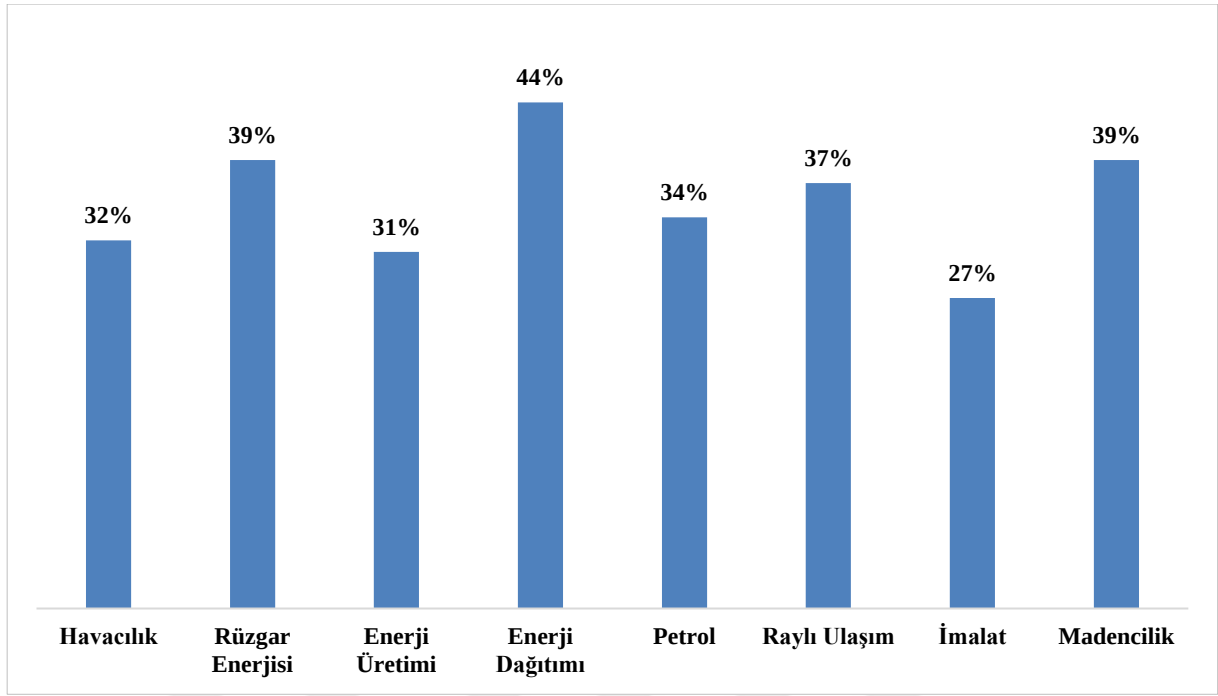
Okul eğitimi ve mesleki eğitim, hükümet ve hükümet dışı paydaşların çabalarıyla yeniden şekillendirilmeli ve geliştirilmelidir. Yeni teknolojilerin ve yaratıcılığın yoğun olarak kullanıldığı bazı benzersiz işler teşvik edilebilir (Sumer 2018: 15).

Endüstri 4.0 çalışma esnekliğini, çalışma süresini, sağlığı, demografiyi ve özel hayatı etkilemektedir. Bu, iş alanlarında ve çalışan yetkinliklerinde önemli bir dönüşüm anlamına gelmektedir. Daha fazla karar verme, koordinasyon, kontrol ve destek hizmetleri gerektiren yeni operasyonel ve organizasyonel yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Üretim yönetim sistemlerinde sanal ve gerçek makineler ve tesisler

arasında koordinasyona ihtiyaç duyulmaktadır (ITRE 2016: 47). Bununla birlikte şirketler, personelin şirketin nasıl değiştiğini ve nasıl bunun bir parçası olabileceklerini anlamalarını sağlamalıdır. En büyük zorluk, doğru standartların, altyapının ve fikri mülkiyet korumasının mevcut olup olmadığı veya veri güvenliği, kişisel gizlilik endişelerinin üstesinden gelinip gelinemeyeceği gibi dış meselelerden ziyade kültür, organizasyon, liderlik ve beceriler gibi iç meseleler etrafında toplanmaktadır (PWC 2016: 17).

Bir diğer konu ise veri güvenliğidir. Dijital ekosistemler, ancak ilgili tüm taraflar verilerinin ve iletişiminin güvenliğine ve fikri mülkiyetlerinin korunmasına güvenebilirse verimli bir şekilde çalışabilir (PWC 2016: 5). Güvenlik, endüstri 4.0 uygulamalarının uygulanmasında genellikle bir endişe kaynağı olarak belirtilmektedir. Eski sistemleri yeni endüstri 4.0 uygulamalarına uyarlamak da güvenlik risklerini artırabilir. Şirketlerin güvenlik risklerini yönetebilmek için sistemlerini güvenceye almaları gerekmektedir (Sniderman, Mahto, Cottelear 2016: 18). Alınacak tüm siber güvenlik önlemlerinin yüksek maliyetli olacağı da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Accenture ve General Electric tarafından 2015 yılında yürütülen Grafik 2.2.'deki araştırma sonucunda, endüstri 4.0 uygulamalarından biri olan büyük verinin şirketlerde uygulanmasında en büyük çekince neredeyse tüm sektörlerde güvenlik olarak öne çıkmaktadır.



Grafik 1.2. Büyük Veri Girişimlerinin Uygulanmasında Güvenliği En Büyük Zorluk Olarak Adlandıran Şirketler (%)

Kaynak: Accenture, GE (2015), *Industrial Internet Insights Report For 2015*.

Maliyetler açısından, endüstri 4.0 uygulama yatırımlarının odak noktası, sensörler, robotlar veya bağlantı cihazları gibi dijital donanım teknolojilerinin yanı sıra donanım üzeri servisler olan yazılım ve uygulamalarda olmaktadır. Donanım çözümleri, standart bilgisayarlardan robotlar gibi yüksek düzeyde tasarlanmış, uygulamaya özel donanımlara kadar uzanır. Yazılıma dayalı sanal çözümler bile, çözüm üretmek için gerçek mühendislik yatırımları gerektirir. Donanım, önemli miktarda sermaye harcaması gerektirir ve bunu gerektiren otomasyon, ücretlere kıyasla yüksek başlangıç maliyetlerine sahiptir (McKinsey 2017: 16). Şirketlerin ayrıca çalışanlarını eğitmek, yeni uzmanlar işe almak ve organizasyonel değişimi yönlendirmek için önemli yatırımlar yapmaları gerekmektedir (PWC 2016: 24).

1.1.4.4. Endüstri 4.0 Uygulamaları

Endüstri 4.0, 2000'lerin başında başlayan ve bazılarına göre hala devam eden bazılarına göre ise yerini Toplum 5.0'a bırakan bir dönüşüm dönemini temsil etmektedir. Bunun gibi teknolojik dönüşümlerin dönemlerinde yer almayan netlik ve tek görüşlülük, bu döneme ait teknolojilerin neler olduğuna da yansımaktadır. Ocak 2022 tarihinde incelenen yaklaşık 50 çalışma içerisinde yer alan 23 adet endüstri 4.0 uygulamasının hepsine yer vermektense ki bazılarının teknoloji değil konsept veya uygulamalar bütünü olduğunu göz önünde bulundurmakta fayda olduğu, 6 tanesini asıl 6 tanesi de ikincil olarak

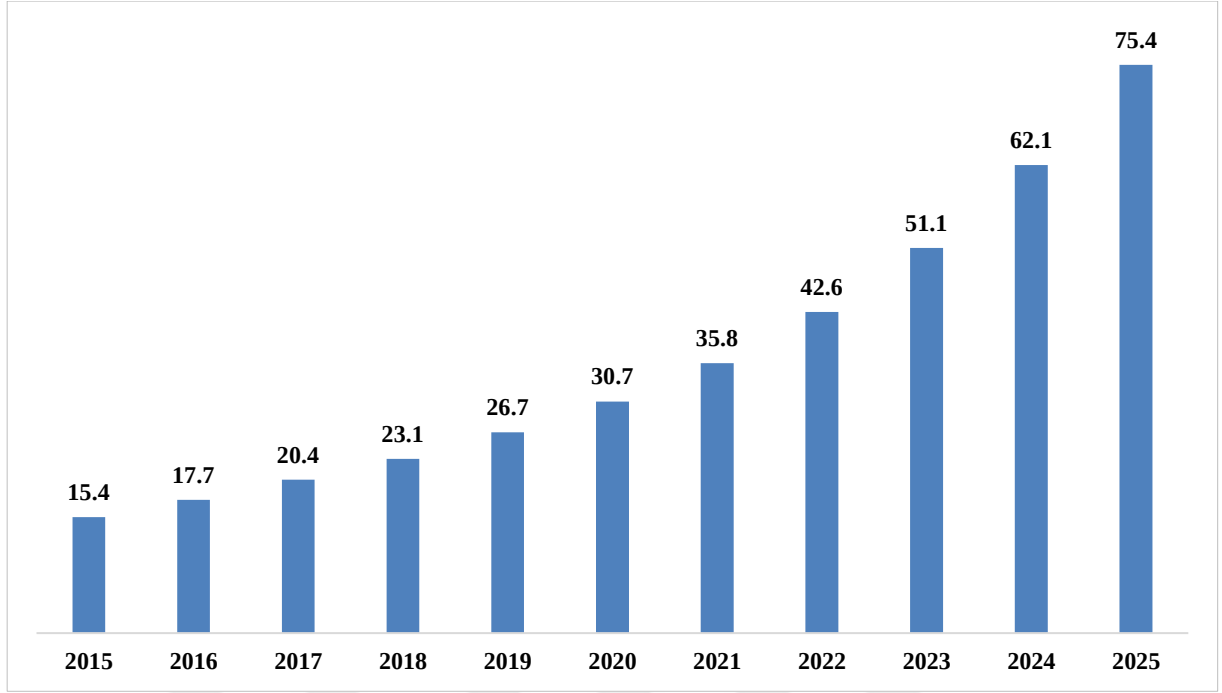
toplam 12 adet uygulamaya yer verip, bahsi geçen tüm uygulamaların %93'üne erişmek konu bütünlüğü verimliliği açısından ideal görünmektedir. İncelenen tüm çalışmalarda yer alan endüstri 4.0 uygulamalarında, bu döneme ait olduğu konusunda tek fikir birliği sadece nesnelerin interneti olarak öne çıkmaktadır.

1.1.4.4.1. Nesnelerin İnterneti ve Nesnelerin Endüstriyel İnterneti

Akademik alanda, endüstri 4.0'ın en popüler bileşenleri sırasıyla nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler ve büyük veri olarak göze çarpmaktadır (Zho, Le Cardinal 2019: 2114). Bunun ana sebebi, nesnelerin internetinin endüstri 4.0 dönüşümünün gerçekleşmesini mümkün kılan en temel yaklaşım olmasıdır (European Commission: 2017:2).

İnternetin doğuşundan bu yana, gereksinim olsun ya da olmasın, cihazlar arasındaki bağlantı zamanla olmazsa olmaz bir hal almıştır. Cihaz performanslarının artması, maliyetlerinin düşmesi ve bağlantı sağlayacak 3G / 4G (Third Generation / Fourth Generation, Üçüncü Nesil / Dördüncü Nesil), Wifi (Wireless Fidelity, Kablosuz Bağlantı Alanı), Bluetooth gibi teknolojilerin de artması ve çeşitlenmesiyle bağlantılı olma süreci hızlanmıştır.

Nesnelerin interneti, mevcut ve gelişen birlikte çalışabilir bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı olarak fiziksel ve sanal şeyleri birbirine bağlayarak gelişmiş hizmetler sağlayan küresel bir altyapı olarak tanımlanabilir (International Telecommunication Union 2020: 2). En yaygın ve bilinirliği yüksek nesnelerin interneti ürünlerine örnek ise son kullanıcıları daha çok ilgilendiren akıllı telefonlar, akıllı arabalar ve ev güvenlik sistemleri gösterilebilirken, daha büyük ölçekte ise endüstriyel olarak akıllı şehirlerden bahsedilebilir. Çeşitli raporlarda farklı tahminler olsa da Grafik 1.3'te görüldüğü gibi 2025 yılına kadar 75 milyardan fazla nesnelerin interneti kapsamında cihazın kullanımda olacağı düşünülmektedir ki bu 2019'daki cihazlardan üç kat daha fazla anlamına gelmektedir (Statistica 2016). Finansal açıdan ise, eğer politika yapıcılar ve işletmeler nesnelerin interneti konseptini doğru anlarsa, 2025 yılına kadar yılda 11,1 trilyon \$'a kadar ekonomik değer üretilebileceği tahmin edilmektedir (McKinsey 2015).



Grafik 1.3. Dünyada Bağlı Cihaz Sayısı (Milyar Adet)

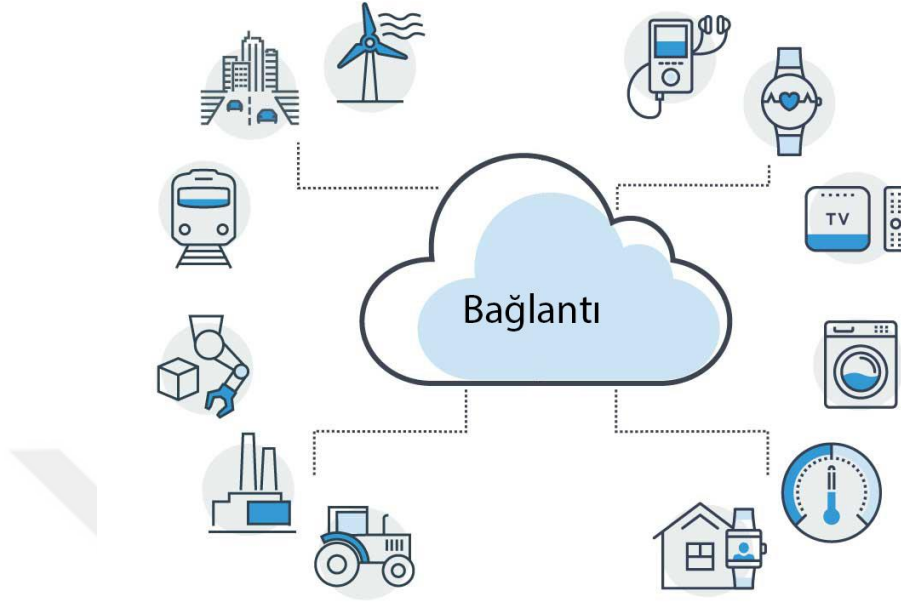
Kaynak: Statistica (2016), *Internet of Things - Number of Connected Devices Worldwide 2015-2025*.

General Electric tarafından ortaya atılan (Gold 2018) IIoT (Industrial Internet of Things, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti), üreticilerin en karmaşık zorluklarını çözmek için tüm üretim sistemlerini tek bir veri modelinde birleştirme konusunda sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır (Columbus 2018).

Nesnelerin interneti ve endüstriyel nesnelerin interneti arasındaki genel fark kullanım alanlarıdır. Nesnelerin interneti yaygın olarak son kullanıcı ya da tüketici için kullanılırken, endüstriyel nesnelerin interneti üretim ve tedarik zinciri yönetim sistemleri gibi daha çok endüstriyel amaçlar için kullanılmaktadır. Şekil 1.1’de endüstriyel nesnelerin internetine örnek olarak enerji altyapıları, akıllı şehirler ve fabrikalar gösterilirken, nesnelerin interneti için akıllı evler, saatler ve TV’ler örnek olarak gösterilmiştir.

IIoT

IoT

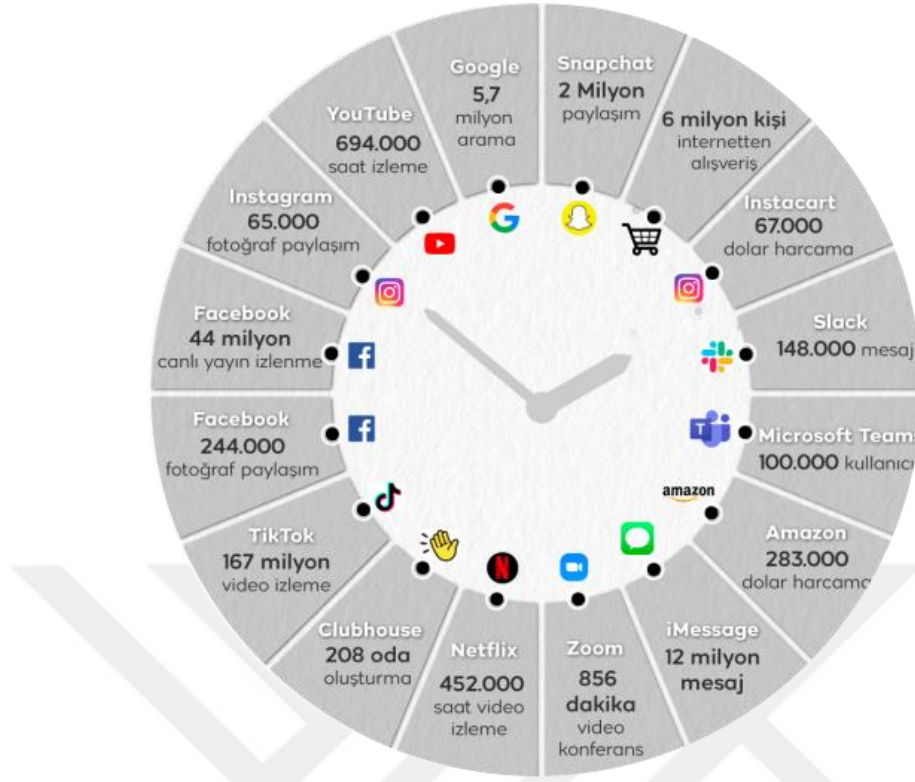


Şekil 1.1. Nesnelerin İnterneti ve Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Kullanım Alanları

Kaynak: Smartrek (2020), *Dissecting the Industrial IoT*.

1.1.4.4.2. Büyük Veri

Büyük veri (Big Data), geleneksel veri işleme uygulamalarının üstesinden gelemeyeceği kadar büyük veya karmaşık veri setlerini analiz etme ve bu veri setlerinden sistematik olarak bilgi elde etmeyi sağlayacak yöntemler arayan bilişim bilimleri alanıdır. Bir diğer deyişle büyük veri, çoğunluğu yapılandırılmamış olan ve sonu gelmez bir şekilde birikmeye devam eden, geleneksel ilişki bazlı veri tabanı teknikleriyle çözülemeyecek kadar yapısalıktan uzak, çok büyük, ham ve üstel bir şekilde büyümekte olan veri setleridir (Kocabey 2022). Bu üstellik 2025 yılına vardığımızda küresel yıllık veri trafiğinin 100 Zettabyte'a (110 Trilyon Gigabyte) çıkacağı tahmin edilmektedir (Frost & Sullivan 2020: 9). Şekil 1.2'de yer alan tabloda görüldüğü gibi, sadece dünyada en çok kullanılan uygulamalara ait örnek olan, bir dakikada üretilen veri miktarı muazzam boyutlara ulaşmıştır. Google'da saniyede neredeyse 100.000 adet yapılan arama ve bu arama ait hem kişisel hem de kurumsal öğrenme algoritmalarından reklam gösterimlerine ve arama motoru endeks yapısına kadar devam eden zincir reaksiyon tarafından üretilen büyük veri miktarı katlanarak artmaya devam etmektedir.



Şekil 1.2. İnternette Bir Dakikada Üretilen Veri Miktarı

Kaynak: Domo (2021), “Data Never Sleeps 9.0”. <https://www.domo.com/learn/infographic/data-never-sleeps-9> adresinden alındı.

Büyük verinin beş tanımlayıcı özelliği vardır. Üç tanımlayıcı özelliği yani 3V’si, Gartner analisti Doug Laney tarafından 2001 MetaGroup araştırma yayınında hacim (volume), hız (velocity) ve çeşitlilik (variety) olarak ortaya atılmışken, son yıllarda değer (value) ve doğruluk (veracity) yeni özellik olarak genel kabul görmüştür.

1.1.4.4.2.1. Hacim

Büyük veri ile, yüksek hacimli düşük yoğunluklu, yapılandırılmış veya yapılandırılmamış veriler işlenebilir. Bunlar, Twitter veri beslemeleri, bir web sayfasındaki veya bir mobil uygulamadaki tıklama akışları ya da sensör özellikli ekipman gibi bilinmeyen değerli veriler olabilir (Oracle 2021).

1.1.4.4.2.2. Hız

Verilerin alındığı ve/ya işlendiği hızdır. Bu hız gerçek zamanlıya ne kadar çok yaklaşırsa bu verilerden

o kadar anlamlı ve uygulanabilir çıktı üretmek mümkün olur. Yangın dedektör sensörleri buna iyi bir örnektir.

1.1.4.4.2.3. Çeşitlilik

Çok farklı kaynaktan özellikle de yapılandırılmamış birçok veri türünü ifade eder. Bu çok çeşitli verilerden anlam üretebilmek için işleme tabi tutulmaları ve birbirine dönüştürülebilir olmaları gerekmektedir.

1.1.4.4.2.4. Değer

Büyük veri, esas olarak çok büyük depolanmış verilerden değer çıkarmakla ilgilenir. Büyük veri, verilerden çıkardığı değerlerle, gizli gerçekleri ve faydalı mesajları ortaya çıkarır, verilerin değerini yaratır. Çünkü verinin kendi başına değeri yoktur (Patgiri, Ahmed 2016: 20).

1.1.4.4.2.5. Doğruluk

“Veracity”, kesinlik, doğruluk ve anlamlılık olarak nitelendirilebilir (Oracle 2021). Doğru olmayan herhangi bir veri değersiz ve anlamsızdır. Doğru olmayan veriler yanlış yönlendirmeye veya yanlış karara yol açabilmektedir.

Büyük verinin sağladığı faydalara baktığımızda ise, diğer endüstri 4.0 uygulamalarında da görülebileceği gibi hem zamandan hem de maliyetlerden tasarruf etmekte büyük katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte firmaların daha yüksek verimlilik ve öngörülebilirlik ile işlerini daha iyi yönetmesine, daha hızlı karar vermesine, üretim ve hizmet sağlama maliyetlerini düşürmesine ve bu değeri müşterilerine aktarmasına yardımcı olabilir. Ayrıca firmaların müşterilerine ait verilerle onlara kişiselleştirilmiş reklam ve hizmet sunmak da büyük veri için bir kullanım alanıdır. Son olarak otomasyonla birlikte, veriye ilgili partilere erişim sağlanmasıyla hatalar ve hileler şeffaf bir şekilde hem takip edilebilir hem de önlenir.

Günümüzde büyük verinin aktif olarak kullanıldığı spesifik alanlardan örnekler aşağıda sıralanmıştır:

- Hastalık tahmini
- Trafik optimizasyonu
- Otonom araçlar için canlı yol haritası
- Tahmini envanter siparişi
- Sahte haber tespiti
- Dolandırıcılık tespiti

- Hava durumu tahmini
- Suç tahmini ve önleme

1.1.4.4.3. Bulut Bilişim

Bulut veya bulut bilişim, daha hızlı yenilik, esnek kaynaklar ve ölçek ekonomileri sunmak için sunucular, depolama, veri tabanları, ağ iletişimi, yazılım, analitik ve akılcı çözümler dahil olmak üzere bilgi işlem hizmetlerinin internet (cloud, bulut) üzerinden sunulmasıdır (Microsoft 2016). Fiziksel veri merkezleri ve sunucuları satın almak, bunlara sahip olmak ve bakımını yapmak yerine, bir bulut sağlayıcısından bilgi işlem gücü, depolama ve veri tabanları gibi teknoloji hizmetlerine gerektiği gibi erişilebilmektedir (Amazon 2013).

Bulut bilişim hizmeti hizmetin içeriğine göre dört farklı model üzerinden verilmektedir: IaaS (Infrastructure as a Service, Hizmet Olarak Altyapı), bulut bilişim hizmetlerinin en temel kategorisi olup, kullandığın kadar öde temelinde bir bulut sağlayıcısından sunucular, sanal makineler, depolama, network ve işletim sistemleri kiralanmasıdır (Microsoft 2016).

PaaS (Platform as a Service, Hizmet Olarak Platform), bir hizmet sağlayıcı, kullanıcıların uygulamalar oluşturmak ve bunları sunmak için kullanabilecekleri bulut tabanlı bir ortama erişmelerini sağlamaktadır. Temel altyapıyı sağlayıcı tedarik etmektedir (IBM 2018).

SaaS (Software as a Service, Hizmet Olarak Yazılım), bir hizmet sağlayıcı, internet üzerinden yazılım ve uygulamalar sunar. Kullanıcılar, web veya tedarikçi uygulama programlama ara yüzü (API, Application Programming Interface) aracılığıyla yazılımlara abone olabilmekte ve erişebilmektedir (IBM 2018).

On Premise (Şirket İçi), sunucu, ekipman ve tüm yazılımın, ihtiyaç duyan firma tarafından kendi binasında bulundurup yönettiği bir hizmet şeklidir. Çok büyük kuruluş ve organizasyonlar için uçtan uca her şeyi kendi kaynaklarıyla yönetmesini gerektiren büyük bir operasyonel ve mali yaklaşımdır. Tablo 1.2’de görüldüğü gibi modele ait tüm katmanlar On Premise modelinde hizmet talep eden taraf tarafından yönetilirken, Software as a Service modelinde neredeyse tamamı hizmet sağlayıcısı tarafından yönetilip karşılanmaktadır.

Tablo 1.2. Bulut Hizmet Modelleri Karşılaştırması

 On-Premises	 IaaS Infrastructure as a Service	 PaaS Platform as a Service	 SaaS Software as a Service
Uygulamalar	Uygulamalar	Uygulamalar	Uygulamalar
Veri	Veri	Veri	Veri
Çalışma Süresi	Çalışma Süresi	Çalışma Süresi	Çalışma Süresi
Ara Katman	Ara Katman	Ara Katman	Ara Katman
İşletim Sistemi	İşletim Sistemi	İşletim Sistemi	İşletim Sistemi
Sanallaştırma	Sanallaştırma	Sanallaştırma	Sanallaştırma
Sunucular	Sunucular	Sunucular	Sunucular
Depolama	Depolama	Depolama	Depolama
Şebeke	Şebeke	Şebeke	Şebeke
		 Sizin Yönettiğiniz	 Başkalarının Yönettiği

Kaynak: Watts, S., Raza, M. (2019, 15 Haziran), “SaaS vs PaaS vs IaaS: What’s The Difference & How To Choose”. <https://www.bmc.com/blogs/saas-vs-paas-vs-iaas-whats-the-difference-and-how-to-choose/> adresinden alındı.

2021’de 445,3 milyar \$ olan küresel bulut bilişim pazar büyüklüğünün, 2026’da 947,3 milyar \$ olması beklenmektedir (MarketsandMarkets 2021). Bu pastadan en çok pay alan firmalar ise sırasıyla Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud ve Alibaba Cloud olup bu firmaların toplam küresel pazar payı %65’in üzerindedir (Canalys 2021).

2021’de Avrupa merkezli firmaların bulut hizmeti kullanma oranları %41’ken, Türkiye’de 2020 yılına göre de kullanım azalarak %11 olarak gerçekleşmiştir (Eurostat 2021). Özellikle son kullanıcı tarafında depolama servisi de veren Google, 2018 yıl ortasında 1 milyar kullanıcıyı geçtiğini duyurmuş (Lardinois 2018) ve kurumsal tarafı ağır basan bir servis için son tüketici adına da verilecek çeşitli hizmetler geliştirip pazarda güçlenmeye devam etmiştir.

Bulut teknolojisinin sağladığı faydalar maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır:

- Hız / Performans
- Ölçeklendirme / Esneklik
- Verimlilik / Maliyet Avantajı
- Güvenlik / Güvenilirlik

1.1.4.4.4. Otonom Robotlar

Birçok endüstride üreticiler, karmaşık görevlerin üstesinden gelmek için uzun süredir robotları kullanmaktadırlar. Ancak robotlar daha da fazla fayda sağlamak için gelişirken daha özerk, esnek ve işbirlikçi hale gelmektedirler (BCG 2016: 5). Bu sürecin sonucu olan otonom robotlar, çok az insan müdahalesi veya etkileşimi ile görevleri gerçekleştirmek üzere programlanabilmektedir. Robotik süreç otomasyonundan yapay zekaya sahip uçan araçlara kadar boyut, işlevsellik, hareketlilik, el becerisi, zeka ve maliyet açısından önemli ölçüde farklılık göstermektedirler. Otonom robotlar çevrelerini tanıyabilir, öğrenebilir ve bağımsız kararlar verebilmektedirler (Deloitte 2017: 4).

Robotların otonomlaşp yaygınlaşması için çok farklı gelişmeler ve ilerlemeler yaşanmıştır. Bu gelişmelerin en önemlileri, robot üretim maliyetlerinin düşmesi ile robotların yapay zeka, navigasyon, sensör gibi robotları otonom kılacak teknolojilerle donatılması olarak sayılabilmektedir. Bu teknolojilerle birlikte otonom robotlar endüstrilerde, verimlilik artışı, hata oranları düşüşü, yüksek hız, insanlarla çalışabilme, insanların çalışamadığı ya da güvenli olarak çalışamadığı yerlerde çalışabilme, kendi kararlarını alabilme hatta diğer robotlarla birlikte koordine olup beraber çalışabilme (MRSs, Multi-robot Systems, Çoklu Robot Sistemleri) gibi değerleri yaratabilmişlerdir.

Otonom robotların kullanımını en fazla domine eden ve küresel robot kullanımının %76'sını oluşturan beş ülke bulunmaktadır: Çin, Japonya, Amerika, Güney Kore ve Almanya (International Federation of Robotics 2021: 12). Robotların en fazla kullanıldığı sektörler ise sırasıyla, elektronik, otomotiv, metal/makine, plastik/kimya ve gıda olarak öne çıkmaktadır (International Federation of Robotics 2021: 15). Dünyada robotik üzerine yapılan harcamaların ise 2025 yılında 67 milyar \$'a ulaşması beklenmektedir (BCG 2014: 2).

Son olarak, robotların kullanım alanlarının teknolojinin gelişmesi ile birlikte endüstriyel seviyeden son kullanıcıya kadar gelmesiyle artık robotlar insanların hayatlarının bir parçası olmaya başlamıştır. Ev içi temizlik, teslimat ve fizik tedavi desteği robotları, servis robotlarının son kullanıcı tarafında en yaygın kullanım alanları olarak görülmektedir.

1.1.4.4.5. Üç Boyutlu Baskı

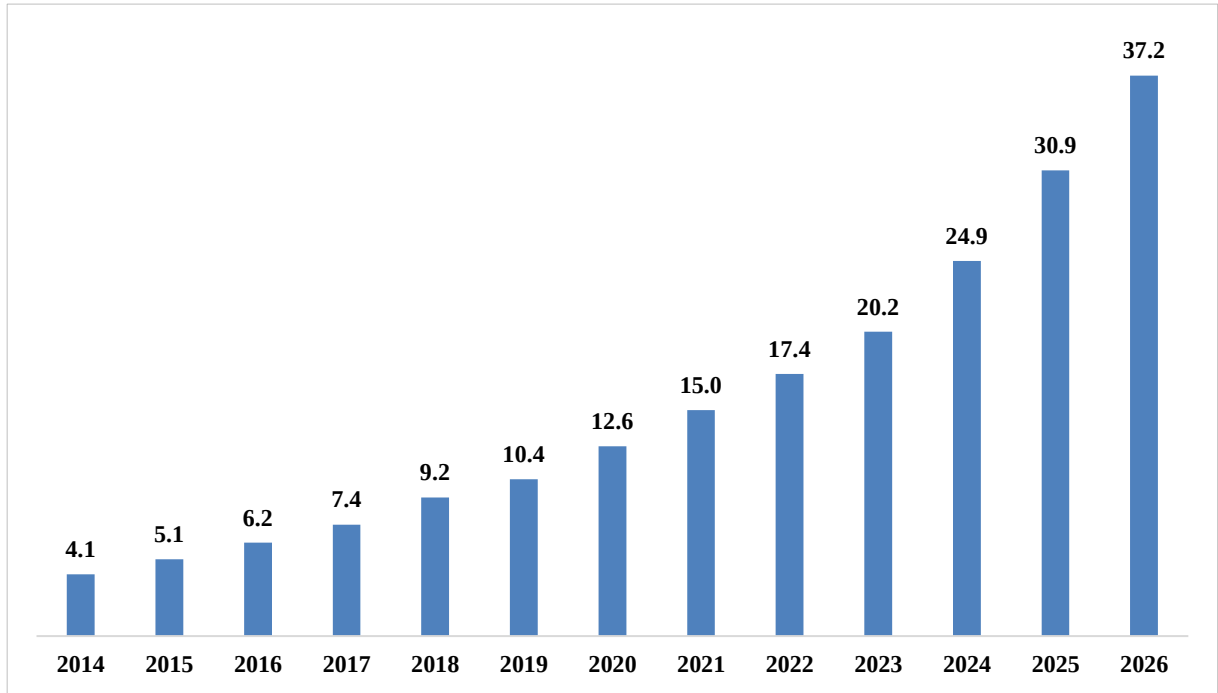
Eklemeli üretim (Additive Manufacturing) olarak da bilinen 3D (Three-dimensional, üç boyutlu) baskı, dijital bir dosyadan üç boyutlu katı nesnelerin üretilmesine yönelik çeşitli süreçleri ifade etmektedir. Eklemeli işlemden, bir nesne tüm nesne üretilene kadar art arda malzeme katmanları biriktirilerek inşa edilmektedir (Medhi 2016: 28). Kullanılan malzeme genellikle polimer olsa da ihtiyaca göre titanyum, metal veya seramik de kullanılabilir.

Üretim hızı, parça büyüklüğü, kullanılacak materyal kısıtları gibi engeller sebebiyle daha çok prototip üretimi, maliyetlerin düşerek son kullanıcıların da kullanmaya başlamasıyla hobi amaçlı kullanılmaya başlayan üç boyutlu yazıcılar, zamanla her tür üretim alanında etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle “Maker” Hareketinin dijital yenilikleri erken benimseyen ve Kendin Yap (DIY, Do It Yourself) kültürü bireysel kullanımı artırsa da (Umweltbundesamt 2018: 19), üç boyutlu yazıcılar %47 oranı ile en çok prototip üretmekte kullanılmaya devam edilmektedir (HUBS 2021: 9). Eklemeli üretimin konvansiyonel çıkarmalı üretimin aksine bir ürünü yekpare şekilde üretebiliyor olması ve üretim sonrasında minimum revizeye ihtiyaç duyması büyük bir artı olarak görülmektedir. Her ne kadar eklemeli üretim bir ölçek ekonomisi sunmaktan uzaksa da devasa standart üretim yatırımlarının yanında çok düşük bütçelerle bile üretim yapmaya imkan sağlaması bu teknolojinin ilk aşamaların da bile dikkate değerdir. Ayrıca eklemeli üretim, standart üretimin sunmadığı esneklik avantajına sahiptir. Bu sayede benzersiz, nadir, yüksek detaylı veya karmaşık ürün üretiminde ideal bir noktada durmaktadır.

Günümüzde üç boyutlu yazıcıların aktif olarak kullanıldığı spesifik alanlardan örnekler aşağıda sıralanmıştır:

- Organ ve doku
- Mücevherat
- Uçak parçaları
- Gözlük
- Dişçilik ürünleri
- Protez
- Heykel

Küresel üç boyutlu yazıcı pazarının 2021’de 15 milyar \$’dan 2026’da 37.2 milyar \$’a çıkması beklenmektedir (HUBS 2021: 7). Pazarın kabaca yarısı üç boyutlu yazıcılar ve bunlara ait ekipman ve yazılım gibi kalemlerden meydana gelirken diğer yarısının danışmanlık, eğitim, bakım sözleşmeleri gibi üç boyutlu baskı bağlantılı servislerden meydana geldiği tahmin edilmektedir (EFI 2015: 71).



Grafik 1.4. Üç Boyutlu Yazıcı Pazar Tahmini (Milyar \$)

Kaynak: HUBS (2021), *Additive manufacturing trend report 2021*.

1.1.4.4.6. Artırılmış ve Sanal Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik (Augmented Reality, AR), gerçek dünyanın bir görünümünü bilgisayar tarafından oluşturulan öğelerle gerçek zamanlı olarak birleştiren, etkileşimli bir üç boyutlu deneyimdir (Johnson 2020).

Sanal Gerçeklik, (Virtual Reality, VR), kullanıcıların görme ve işitme duyularının uyarılarak sanal bir dünya ile etkileşime girmelerini sağlamaktadır. Amaç, kullanıcıyı sanal bir dünyaya sokmak ve gerçek dünyayı görmelerini engellemektir (HP 2018).

Artırılmış ve sanal gerçeklik, karma gerçeklik (Mixed Reality, MR) adı verilen daha geniş bir teknoloji alanının parçasıdır. Karma gerçeklik, fiziksel dünyayı dijital dünyayla harmanlayan ve tamamen gerçek ve sanal ortamların uç noktaları arasında var olan farklı teknolojileri tanımlamaktadır (Eschen vd. 2017: 157). Artırılmış ve sanal gerçeklik, arasındaki en temel fark, artırılmış gerçeklik sanal öğeleri gerçek dünyada bir katman olarak verirken, sanal gerçeklik gerçek dünyayı bilgisayar tarafından oluşturulan sanal bir ortamla değiştirerek iletmeğdir.



Şekil 1.3. Sanal Sürekliliğin Basitleştirilmiş Temsili

Kaynak: Milgram, P., Kishino, F. (1994). “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays”, *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D/12: 1321-1329. doi: 10.1.1.102.4646

Artırılmış ve sanal gerçekliğin hem tüketici hem de üretici tarafında çeşitli faydaları mevcuttur. Bunların başında öğrenme ve müşteri deneyimi, mobilite, marka bilinirliği, kişiselleştirilmiş içerik, düşük maliyetli ve güvenli test ortamı sayılabilir.

Artırılmış, sanal ve karma gerçekliğin, dünyadaki pazar büyüklüğüne baktığımızda ise 2019 yılında 46.4 milyar \$ iken, 2030 yılında bu rakamın 1.5 trilyon \$’a çıkması beklenmektedir (PWC 2019: 4). Sektörel olarak ise pazarın üçte birini video oyunları oluştururken, sırasıyla sağlık, mühendislik ve canlı gösteriler 2025 yılında en çok kullanılacak alanlar olarak düşünülmektedir (Markopoulos, Luimula 2020: 2).

Son olarak temeli sanal gerçekliğe dayanan ve 2021 Ekim ayında Facebook’un çatı firmasının ismini Meta olarak değiştirip bir sonraki dijital akımı ve firma stratejisinin yönünün de değiştiğini göstermesiyle bir anda popülerleşen “Metaverse” kavramından da kısaca bahsetmek gerekmektedir. Metaverse kelimesi ilk olarak 1992’de Neal Stephenson tarafından yazılan Snow Crash adlı bir kurgu romanda ortaya çıkmış ve Stephenson, “Metaverse” kavramını büyük bir sanal ortam olarak tanımlanmıştır (Damar 2021: 1). Temel olarak, “Metaverse” insanların ve şeylerin sanal ve uzamsal kapasitede etkileşim kurması için birleşik bir yoldur (Hughes 2022). “Metaverse”, herhangi bir teknoloji kısıtlaması olmaksızın, evrime daha uygun olan insanlarla ve verilerle etkileşimlere yardımcı olurken, ortak deneyimler yaşanması için yeni yollar sağlaması beklenmektedir.

1.1.4.4.7. Diğer Uygulamalar

1.1.4.4.7.1. Sistem Entegrasyonu

Endüstri 4.0 tüm fiziksel varlıkların uçtan uca dijitalleştirilmesine ve değer zinciri ortaklarıyla dijital ekosistemlere entegrasyonuna odaklanmaktadır. Ürün geliştirme ve satın almadan üretim, lojistik ve hizmete kadar tüm organizasyon genelinde süreçleri dijitalleştirirken dikey olarak entegre etmektedir. Operasyon süreçleri, süreç verimliliği ve kalite yönetimi ile operasyon planlaması hakkındaki tüm

veriler, gerçek zamanlı olarak artırılmış gerçeklik tarafından desteklenir ve entegre bir ağda optimize edilmektedir. Yatay entegrasyon, tedarikçilerden müşterilere ve tüm önemli değer zinciri ortaklarına kadar dahili operasyonların ötesine uzanmaktadır (PWC 2016: 6).

1.1.4.4.7.2. Siber Güvenlik

Siber güvenlik, sanal sistemleri her türlü saldırı ve tehdide karşı korumaktır. Ayrıca kurum ve kullanıcılardaki güvenlik risklerini istenmeyen tehditlere karşı tespit etmekte ve gerekli güvenlik analizlerini yaparak önlem almaktadır. Siber güvenliğin temel amacı, bilgi sistemlerinde işlenen, saklanan ve aktarılan bilgilerin gizliliğini, verilerin bütünlüğünü, bilgiye erişimini, hız ve kalitesinin korunmasını ve sistemin sürekliliğini sağlamaktır. Endüstri 4.0 odaklı operasyonların birbirine bağlı doğası ve dijital dönüşümün hızı, siber saldırıların her zamankinden çok daha kapsamlı etkileri olabileceği anlamına gelmektedir (Tepe 2021: 125).

1.1.4.4.7.3. Simülasyon

Simülasyon, gerçek hayattaki bir sistemin, gerçek zamanlı veriler kullanarak bilgisayar ortamında taklit edilmesidir. Bunun sağlanabilmesi için, endüstri 4.0 ile birlikte gelen birçok teknolojinin aynı anda kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden simülasyon, doğrudan siber fiziksel sistemler, dijital ikiz, dikey ve yatay sistem entegrasyonu, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, bulut, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti ve eklemeli üretim ile ilgilidir (Gunal 2019: 4).

1.1.4.4.7.4. Siber-fiziksel Sistemler

Siber-Fiziksel Sistemler (CPS, Cyber-physical System), internet üzerinden, çevredeki fiziksel dünya ve onun devam eden süreçleri ile yoğun bağlantı içinde olan, aynı zamanda veri erişim ve veri işleme hizmetlerini sağlayan, kullanan ve iş birliği yapan sistemlerdir (Monostoria 2014: 9). Bu sistemlerin çeşitli ekipmanlardan topladığı anlık verilerle, fiziksel dünya ile etkileşim sağlaması, uygun karar veren bir mekanizmaya dönüşüp farkındalığa sahip olması beklenmektedir.

1.1.4.4.7.5. Akıllı Fabrikalar

Akıllı fabrikalardan genellikle endüstri 4.0'ın önemli bir özelliği olarak bahsedilir. Aslında bahsedilen diğer endüstri 4.0 uygulamalarının bir fabrika bağlamında gerçekleştirilmesidir (Obitko, Jirkovský 2015: 220). Makineler, sensörler ve diğer nesneler, gömülü sistemler (ES, Embedded System) adı verilen özel bilgisayar sistemleri sayesinde bilişsel algı ve harekete geçirme ile donatılmışlardır. Rastgele nesneler bilişsel, algılama veya harekete geçirme, iletişim ve özerklik yetenekleriyle donatıldığında, endüstri 4.0'ın temel varlıkları olan akıllı fabrikanın yapı taşları olan siber fiziksel

sistemler haline gelmektedir (Rojas vd. 2017: 823).

1.1.4.4.7.6. Yapay Zeka

Yapay zeka, makinelerin insan benzeri zeka seviyeleriyle algılamasını, kavramasını, hareket etmesini ve öğrenmesini sağlamak için birlikte çalışan birçok farklı teknoloji grubudur (Accenture 2020). İnsanın düşünme, muhakeme yeteneği ve amacı göz önüne alındığında, insanlardan gelen geleneksel tepkilerle tutarlı bir uyarıya yanıt veren makinelerle atıfta bulunur. Yazılım sistemleri normalde insan düzeyinde uzmanlık gerektiren kararlar almakta ve insanların sorunları tahmin etmelerine veya ortaya çıktıkça zorluklarla başa çıkmalarına yardımcı olmaktadır (West 2018: 33). Zamanla yapay zekanın gelişmesi ve makine öğrenmesi gibi teknolojilerle bütünleşik kullanımı ile insana ve insanların kararlarını yakınsayacakları ve insanlığa hizmet edecekleri (GPT-3 2020) öngörülmektedir.

1.1.4.4.7.7. Blokzincir

Blokzincir (Blockchain), bir defter veya daha basit olarak, bir bilgisayar ağı tarafından kaydedilen işlemlerin kronolojik bir veritabanıdır. Blokzincir terimi, bu işlemlerin bloklar halinde gruplandırılmasını ifade eder ve bu blokların zinciri, blokzincirinin başlangıcından bu yana kabul edilen işlem geçmişini oluşturmaktadır (Peters, Panayi 2016: 3). 2008 yılında Nakamoto'nun Blokzincir temelli dijital ödeme aracı olan Bitcoin'i bulmasından sonra popüleritesi artmış ve birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Blokzincirin merkeziyetsiz ve şeffaf yapısı işlemlerin taraflar arasında aracız ve güvene ihtiyaç duymadan gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Gereken şey, güven yerine kriptografik kanıtlara dayanan elektronik bir ödeme sistemidir ve her iki taraf da güvenilir bir üçüncü tarafa ihtiyaç duymadan doğrudan birbirleriyle işlem yapabilmesi sağlanabilmiştir (Nakamoto 2008: 1).

1.1.4.4.7.8. Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme

Makine öğrenimi, geniş anlamda bir makinenin akıllı insan davranışını taklit etme yeteneği olarak tanımlanan yapay zekanın bir alt alanıdır. Yapay zeka sistemleri, karmaşık görevleri, insanların sorunları çözme şekline benzer şekilde gerçekleştirmek için kullanılmaktadır (Brown 2021). Makine öğrenimi, örnek verileri veya geçmiş deneyimleri kullanarak bir performans kriterini optimize etmek için bilgisayarların programlanmasıdır. Belirli bir problemi çözmek için doğrudan bir bilgisayar programı yazılamayan, ancak örnek verilere veya deneyime ihtiyaç duyulan durumlarda öğrenmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Alpaydin 2004).

Derin öğrenme, temelde daha fazla katmana sahip bir sinir ağı olan makine öğreniminin bir alt

kümesidir. Bu sinir ağı, insan beyninin büyük miktarda veriden öğrenmesine izin veren davranışını simüle etmeye çalışmaktadır (IBM 2020). Son teknoloji ürünü bir makine öğrenimi yaklaşımı olan derin öğrenme, karmaşık yüksek boyutlu verilerdeki karmaşık yapıları tanımlamada geleneksel makine öğrenimine göre olağanüstü bir performans göstermiştir (Jo, Nho, Saykin 2019: 2).

1.1.4.4.7.9. Makineler Arası İletişim

Makineler arası iletişim (M2M, machine-to-machine) iletişimi, makinelerin çok az veya hiç insan müdahalesi olmadan doğrudan birbirleriyle iletişim kurmasını sağlayan bir veri aktarımı biçimidir. Verimliliği artırmak ve maliyeti düşürmek amacıyla ev otomasyonu, telemetri, enerji yönetimi ve ulaşım gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilmektedir (Kim, Youm 2013: 1).

1.1.4.4.7.10. 5G

5G, önceki nesil 4G'den daha fazla kapasite ve daha yüksek veri hızları sağlamak için tasarlanmış yeni nesil mobil iletişim teknolojisidir (Ahmad vd. 2020: 14460). Günümüzün büyüyen mobil trafiğine uyum sağlama talebiyle hareket eden 5G, farklı gereksinimlere sahip çeşitli gelecek hizmetleri destekleyerek bilgi ve iletişim teknolojisi endüstrisinde önemli bir etkinleştirici ve lider bir altyapı sağlayıcısı olmak üzere tasarlanmıştır (Morocho-Cayamcela, Lee, Lim 2019: 137184).

1.1.5. Endüstri 5.0 / Toplum 5.0

Toplum 5.0, siber ve fiziksel alanı yüksek oranda bütünleştiren bir sistemle ekonomik ilerlemeyi sosyal sorunların çözümüyle dengeleyen insan merkezli bir toplumu ifade etmektedir (Cabinet Office Japan 2018). Kavram, Japonya'nın iş federasyonu olan Keidanren tarafından 2016 yılında sunulmuş ve daha sonra Japon hükümeti tarafından desteklenmiştir. Japonya, esas olarak bireysel organizasyonlar ve toplumun bölümleri düzeyinde yer alan dijitalleşme ve dönüşüm boyutlarını bir ulusal dönüşüm stratejisi, politikası ve felsefesi haline getirmeyi planlamaktadır (European Commission 2021).

Endüstri 4.0'ın temel odak noktası, sürecin verimliliğini artırmaktır ve bu nedenle, süreçlerin optimizasyonundan kaynaklanan insan maliyetini istemeden göz ardı etmektedir. Sonuç olarak, istihdam sayısını artırma baskısı arttıkça endüstri 4.0'ın bazı faydalarının etkisiz hale getirildiğini görecektir. İşçi sendikaları ve politikacıların direnişiyle karşılaşılacağı beklenmektedir. Bunun üstesinden gelmek için ihtiyaç duyulacak çözümün endüstri 5.0 olduğu düşünülmektedir (Nahavandi 2019: 2). Ayrıca ekonominin küreselleşmesi ilerlemekte, uluslararası rekabet giderek şiddetlenmekte, zenginliğin yoğunlaşması ve bölgesel eşitsizlik gibi sorunlar büyümektedir. Bu tür bir ekonomik gelişmeye karşı çözülmesi gereken sosyal sorunlar giderek daha karmaşık hale gelmiştir. Burada sera gazı

emisyonlarının azaltılması, üretimin artırılması ve gıda maddelerinin kaybının azaltılması, yaşlanan toplumla ilişkili maliyetlerin azaltılması, sürdürülebilir sanayileşmenin desteklenmesi, refahın yeniden dağıtılması ve bölgesel eşitsizliğin düzeltilmesi gibi çeşitli önlemler gerekli hale gelmiştir. Ancak hem ekonomik kalkınmayı hem de sosyal sorunlara aynı anda çözüm bulmanın mevcut sosyal sistemde zor olduğu kanıtlanmıştır. Dünyadaki bu kadar büyük değişimler karşısında, bir toplumun gidişatını etkileyebilecek nesnelerin interneti, robotik, yapay zeka ve büyük veri gibi yeni teknolojiler gelişmeye devam etmektedir. Japonya, bu yeni teknolojileri tüm endüstrilerde ve sosyal faaliyetlerde birleştiren ve hem ekonomik kalkınmayı hem de sosyal sorunlara paralel olarak çözümler sağlayan yeni bir toplum olarak Toplum 5.0'ı gerçeğe dönüştürmeyi amaçlamaktadır (Cabinet Office Japan 2018).



İKİNCİ BÖLÜM

2. HAVACILIKTA ENDÜSTRİ DEVRİMİ

2.1. Havacılık Endüstri Devrimi

İnsanlı, kendinden tahrikli, kontrollü ve havadan ağır bir uçak ile tarihteki ilk başarılı uçuşun 17 Aralık 1903 yılında 284 metre mesafe ve 59 saniye ile Wright kardeşlerden tarafından (Petrescu vd. 2017: 35) gerçekleştirildiği düşünüldüğünde havacılığın devasa bir yol kat ettiği daha kolay anlaşılabilmektedir. İlk uçuşu gerçekleştirenler Wright kardeşler olsa da Whitehead, Lilienthal, Chanute, Langley, Cayley, Penaud gibi havacılık tutkunlarının sayesinde, milat öncesi bir tarihçeye sahip olan uçma hevesi gerçeğe dönüşebilmiştir. Uçurtnalardan, kule atlayışlarından ve sıcak hava balonlarından ses hızını kat kat aşan uçaklara olan bu tarihsel gelişimi sanayi devrimlerine benzer şekilde dört aşamada incelemek mümkündür. Tablo 2.1’de bu aşamalar, dönemleri, özellikleri ve bu dönemlerde hangi sorulara cevap verdikleri yer almaktadır. Yaygın kullanım açısından sektörün havacılık 3.0 ve 4.0 arasında bir noktada yer aldığı görülmekle birlikte, merkezi olmayan karar alma sistemlerinin de tamamen otonom olmasıyla havacılık 4.0’a geçişin büyük ölçüde tamamlanacağı düşünülebilir.

Tablo 2.1. Havacılık Endüstri Devriminin 4 Aşaması

	Gelişim Aşamaları	Dönem*	Özellikleri	Sinyal İşleme Özellikleri	Temel Zorluklar
Havacılık 1.0	Görerek Uçuş	1903-1919	Hava Alanı	Görsel Sinyaller	Bir uçak nasıl yapılır ve uçar?
Havacılık 2.0	Alet Uçuşu	1919-1952	Frekans Alanı	Teknik Analog Sinyaller	Olumsuz koşullar altında bir uçak nasıl uçar? Aynı hava sahasında yoğun trafikte uçan birden fazla uçak nasıl kontrol edilir?
Havacılık 3.0	Yardım Sistemleri; Güvenlik Ağları	1952-2015	Veri Alanı (Dijitalleştirme; Bilişim)	Dijital Veri İşleme; Dijital Veri İletişimi	İnsanları toplu, görselleştirilmiş, anlaşılır bilgiler yardımıyla bilinçli kararlar vermeleri için desteklemek.
Havacılık 4.0	Merkezi Olmayan Karar Alma Sistemleri	2015-...	Siber Alan (Otomasyon; Yapay Zeka)	Siber-Fiziksel Sistemler	Siber-fiziksel sistemler: İnsanlara fiziksel olarak yorucu veya tehlikeli işlerde yardımcı olmak, kararlar almak ve görevleri özerk bir şekilde tamamlamak için.

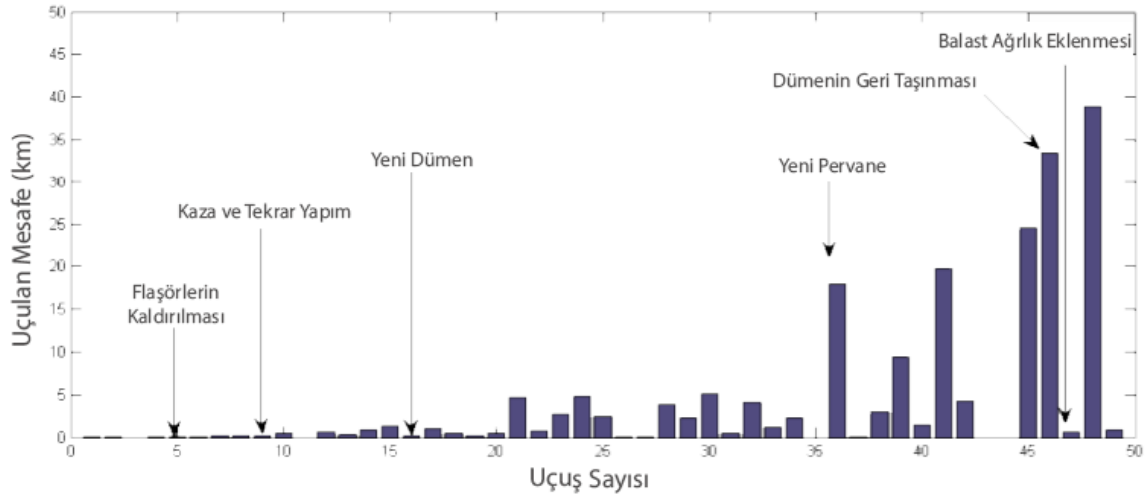
Kaynak: Valdes, R. A., Comendador, V. F. G., Sanz, A. R., Castán, J. P. (2018), Aviation 4.0: More Safety through Automation and Digitization, Kuşhan, M. C. (Ed.), *Aircraft Technology*, IntechOpen: 225-236.

*Sevinçel, P. (2018, 6 Temmuz), “Aviation 4.0: The Age of Democratized Aerial Mobility”. <https://medium.com/aviaryproject/aviation-4-0-the-age-of-democratized-aerial-mobility-33c871f6f2a6> adresinden alındı.

2.1.1. Havacılık 1.0

Havacılık 1.0, 1903 yılındaki ilk motorlu uçuş ile 1919 yılında Airco DH.16 uçağıyla Londra ve Paris arasındaki ilk ticari yolcu uçuşu (KLM 2011) arasındaki dönem olarak tanımlanabilir (Sevinçel 2018). Bu aşamada, görerek uçuş kurallarının geliştiği ve pilotların uçuşuna yardımcı olacak herhangi bir ekipman yardımının olmadığı ticari havacılığın başlangıcına karşılık gelmektedir. Bu döneme, bir uçağın nasıl inşa edileceği ve uçuşacağı ile ilgili teknolojik zorluklar hakim olmuş ve devamında ise pilotlara yardımcı olmak için mekanik icatlar, elektrikli temel araçlara paralel olarak uçuş kontrollerine aşamalı olarak dahil edilmiştir (Valdes vd. 2018: 227). İşleyen uçakların ortaya çıkmasından otuz yıl önce, bunların nasıl tasarlanacağı konusunda ciddi tartışmalar yaşanmıştır. Zamanla, bir kişiyi kontrollü bir uçuşa taşıyabilecek sabit kanatlı, havadan ağır bir planörün nasıl yapılacağına dair temel tasarım fikirleri ortaya çıkmıştır (Meyer 2013: 116). Çok çeşitli tasarımların denendiği, külfetli ve yavaş olan bu çalışmalar, 1909 yılında mühendis ve mucit Louis Blériot’ın kendi tasarımı olan tek kanatlı uçağı

kullanarak İngiliz kanalını geçmesiyle (Grant 2002: 40) temel tasarım mantığında netleşmiştir. Bu geçişle birlikte, İngiliz politikacı David Lloyd George'un da dediği gibi, uçan araçlar artık oyuncak ve hayal olmayıp sabit bir gerçekliğe dönüşmüştür (Grant 2002: 45). Uçak inşası ve nasıl uçurulacağı ile ilgili problemleri daha iyi anlamak için sadece 1905 yılına ait Wright kardeşlerin yapmış olduğu uçuş adeti ve modifikasyonlar Grafik 2.1.'de incelenebilir.



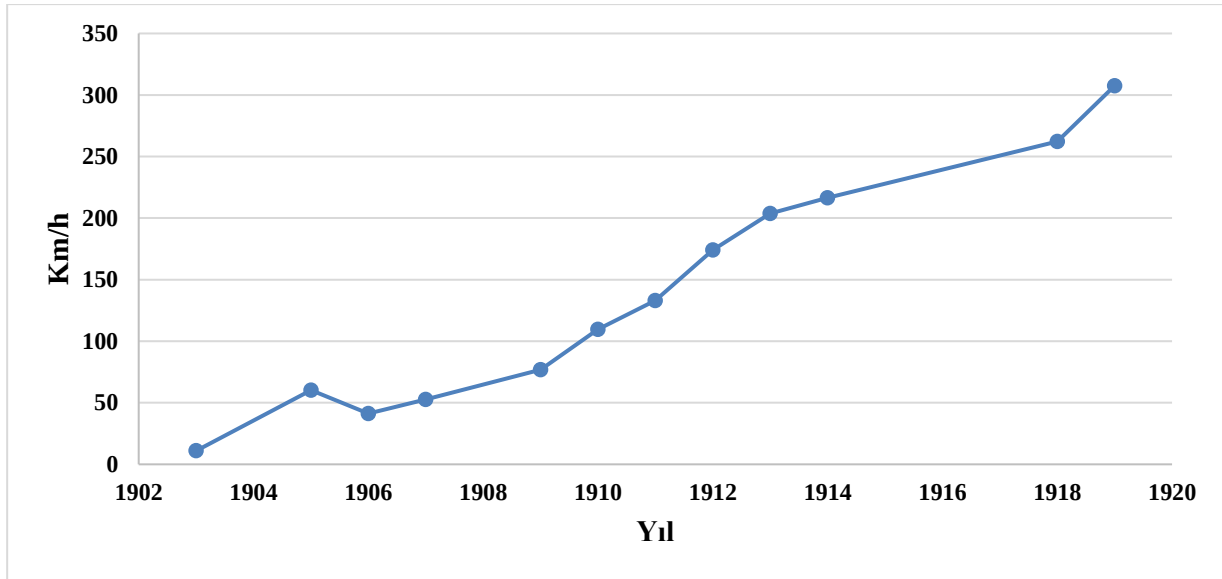
Grafik 2.1. 1905 Yılında Wright Kardeşlerin Yaptığı Uçuşlar ve Yapılan Modifikasyonlar

Kaynak: Padfield, G., D., Lawrence, B. (2005), “The birth of the practical aeroplane: An appraisal of the Wright brothers' achievements in 1905”, *Aeronautical Journal*, 109/1100: 421-437.

doi: 10.1017/S0001924000086474

Wright kardeşler özellikle kanat ve aerodinamik çalışmalarını hızlandırmak için günümüz dijital ikiz teknolojisinin atası sayılabilecek olan rüzgar tünelini inşa etmişler ve bu sayede %70'e yakın verimliliğe sahip bir pervaneye sahip olmuşlardı (Anderson 1999: 13). Bugünün teknolojisi olan bir pervaneden %85-%90'a arasında bir verimlilik elde edilebildiği düşünüldüğünde bunun o dönem için ne büyük bir inovasyon olduğu açıktır.

Tasarım sonrası bir diğer büyük atılım ise motorların eklenmesi ve bu motorların performanslarının sürekli artırılmasıyla ilgili çalışmaların yapılması olmuştur. Sadece 16 yıl içerisinde saatte 10 km hızdan 300 km hıza erişildiği Grafik 2.2'de görülmektedir. Uçak teknolojisindeki belirsizlik ve o sırada mühendisler sunulan araç ve gereçler göz önüne alındığında, bu kadar hızlı inovasyon, günümüz standartlarına göre bile olağanüstüdür (Sevinçel 2018).



Grafik 2.2. Havacılık 1.0 Dönemine Ait Uçak Hız Rekorları

Kaynak: Munson, K. (1978), *Jane's Pocket Book of Record-Breaking Aircraft*, New York: Collier Books.

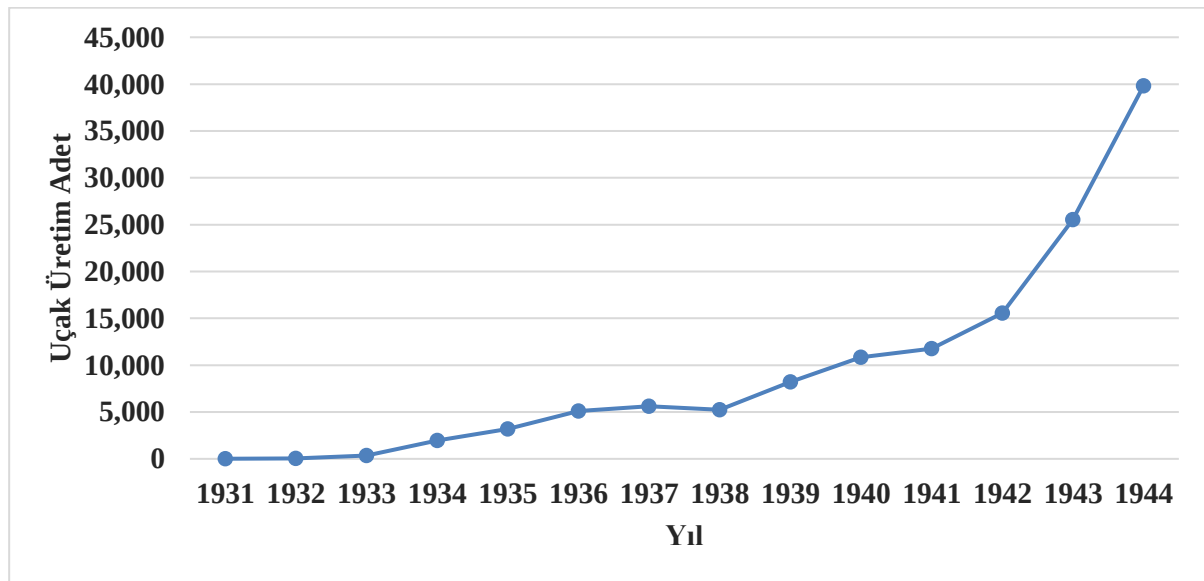
Çok kısa sürede çok büyük atılımlar yapabilmeyen 20. yüzyılın başına kadar gelen kümülatif teknolojik gelişimin desteği dışında, fikri mülkiyetten bağımsız, dönemin kolektif ruhu temel etmenlerden biri olarak değerlendirilebilir. Deneyciler, mucitler ve yazarlar, yayınlarda, kulüplerde bilgi paylaşarak, mektup yazarak ve birbirilerini ziyaret ederek uçağın gelişimine katkıda bulunmuşlardır. Sonrasında endüstriyel uçak üretiminin ortaya çıkmasıyla birlikte ticari rekabet bağlamında patentler önem kazanmaya başlamıştır (Meyer 2013: 115). Bunun dışında ilk gerçek uçağın icat edilebilme ihtimalinin artık netleşip, kimin bu icadı yapıp tarihe geçeceği yarışının da bu süreci hızlandığı düşünülebilir. Gustav Lilienthal'ın 1912 yılında dediği gibi; “İnsanlığın yararına olacak büyük bir keşfin veya icadın görkemi göz kamaştırıcı görünüyordu. Otto ve ben, bu coşkuya erken yaşta yakalananlar arasındaydık.” (Meyer 2013: 120).

2.1.2. Havacılık 2.0

Bu dönem 1919'da ilk tarifeli uluslararası uçuş operasyonlarının başlamasıyla adlandırılır ve 1952'de dünyanın ilk ticari jet uçağının tanıtımı ile sona erer. Dünya savaşları arasındaki dönem, genellikle havacılığın Altın Çağı olarak adlandırılrsa da ne pilotlar ne de uçak üreticileri için böyle hissedilmemiştir (Grant 2002: 108). Ancak uçakların yavaş, ahşap ve kablolu çerçeveli ve kumaş kaplı çift kanatlı uçaklardan daha hızlı şık, tamamen metal tek kanatlı uçaklara dönüştüğü bu dönem (Mattimoe 2000) çok çeşitli atılımlarla gerçekleştirilmiş ve Atlantik Okyanusu geçmek gibi meydan okumalara sahne

olmuştur.

Bu dönemi diğer dönemlerden çok farklı kılan etmen ise hiç şüphesiz dünya savaşlarıdır. Dünya Savaşlarına ayrılan devasa finansal kaynaklar, daha sonra sivil havacılıkta da kullanılacak olan askeri havacılık teknolojilerinin gelişmesine önyak olmuştur. Birinci Dünya Savaşı'nda ilk kez büyük ölçekte uçakların kullanılması, sonraki yüzyıl hava muharebesine damgasını vurmuştur. Uçaklar başlangıçta düşman hareketlerini izlemek için kullanılırken, faydaları her iki tarafça da hızla fark edilmiş ve havada bir savunma sistemine ihtiyaç duyulmuştur (Dano 2015). Tarihteki ilk hava savaşı Ekim 1914'te iki Fransız havacı tarafından bir Alman uçağının düşürülmesiyle gerçekleşmiş ve sonrasında pervanelerden mermi atabilen makineli tüfeklerin yerleştirilmesiyle savaş uçağının doğmuştur (Réseau canopé 2020). Hollanda doğumlu mühendis Anthony Fokker'ın, 1915'te tek kişilik Fokker E-1 uçağına Alman ordusu için monte ettiği ilk senkronize tüfekler o kadar ölümcüldü ki, düşmanları ona "Fokker Belası" lakabını takmışlardı (Roos 2022). I. Dünya Savaşında ortaya çıkmaya başlayan hava ikmal, keşif, karşı taarruz, stratejik bombalama ve yakın hava desteği gibi hava gücü rollerinin çoğu II. Dünya Savaşında etkin şekilde kullanılmıştır (Stephens 2001: 30). Düşman tespiti için radar teknolojisi, daha hızlı saldırılar için jet motor teknolojisi, havadaki kuvvetleri etkin şekilde yönetebilmek için hava trafik kontrolörlüğü savaş dönemlerinde geliştirilmiş başlıca yenilikler arasındadır. Son olarak, yüksek talebe cevap verebilmek için hem organizasyonel yenilikler uygulanırken hem de seri üretimin havacılığa entegrasyonu ile daha verimli ve esnek üretim bantları ve yönetim şekilleri ortaya çıkmıştır. Grafik 2.3'te, bu gelişimin üretime yansması, seri üretimi Amerika ve İngiltere'den daha geç fark edip uygulamış olduğu halde Almanya'da yıllar içerisindeki savaş iştahının etkisiyle uçak üretiminin ne denli hızlı bir şekilde yükseldiği görülebilmektedir.



Grafik 2.3. Almanya'da II. Dünya Savaşı Öncesi Askeri Uçak Üretimi

Kaynak: Uziel, D. (2006), “Between Industrial Revolution and Slavery. Mass Production in the German Aviation Industry in World War II”, *History and Technology*, 22/3: 277-300. doi: 10.1080/07341510600803341

Havacılık 2.0, sivil havacılığın oluşmaya başlayıp regülasyonların uygulanması, teknolojik gelişmeler ve ticari faaliyetler olmak üzere üç başlıkta incelenebilir.

Regülasyonlar hem devlet hem de organizasyonlar aracılığıyla yaygınlaşmıştır. Bu organizasyonlara en eski örnek IATA (International Air Transport Association, Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği) olarak verilebilir. IATA, 19 Nisan 1945'te Küba, Havana'da kurulan dünya havayolları ticaret birliğidir. Havacılık faaliyetinin birçok alanını destekler ve kritik havacılık konularında endüstri politikasının formüle edilmesine yardımcı olmaktadır. Dünya tüketicilerinin yararına güvenli, güvenilir, emniyetli ve ekonomik hava hizmetlerini teşvik etmede havayolları arası iş birliği için ana araçtır (OECD 2016). Bugün dünyanın her yerinde 120 ülkeden yaklaşık 290 üyesi bulunmaktadır (IATA 2019).

IATA'nın dışında yine benzer dönemlerde kurulan bir diğer önemli havacılık organizasyonu ICAO (International Civil Aviation Organization, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü)'dur. ICAO, Chicago Konvansiyonu'na imza atan 52 ülke tarafından, 4 Nisan 1947 tarihinde kurulan Birleşmiş Milletlerin yasal havacılık organıdır. ICAO'nun amacı, uluslararası hava seyrüseferinin ilke ve tekniklerini geliştirmek ve uluslararası hava taşımacılığının planlanmasını ve geliştirilmesini teşvik etmektir. ICAO'nun misyonunun merkezinde, sivil havacılığın uluslararası standardizasyonu hedefi yer almaktadır (Mackenzie 2010).

Havacılık 2.0 döneminde, havacılığın sürekli ve istikrarlı büyümesinin getirdiği çeşitli zorluklar, teknolojik gelişmeler tarafından yönlendirilerek aşılmıştır. Daha yüksek hız ve irtifa, aynı anda daha fazla uçağın uçuşu, kötü hava koşullarında seyahat bunlardan sadece birkaçıdır. Bu soruların çözümünde VOR (VHF Omni-directional Radio Range, Yüksek Frekans Çok Yönlü Menzil), ILS (Instrument Landing System, Aletli İniş Sistemi), yüksek oktanlı yakıt, basınçlı kabin gibi dönemin çok ilerisinde inovatif yaklaşımlar gösterilmiştir.

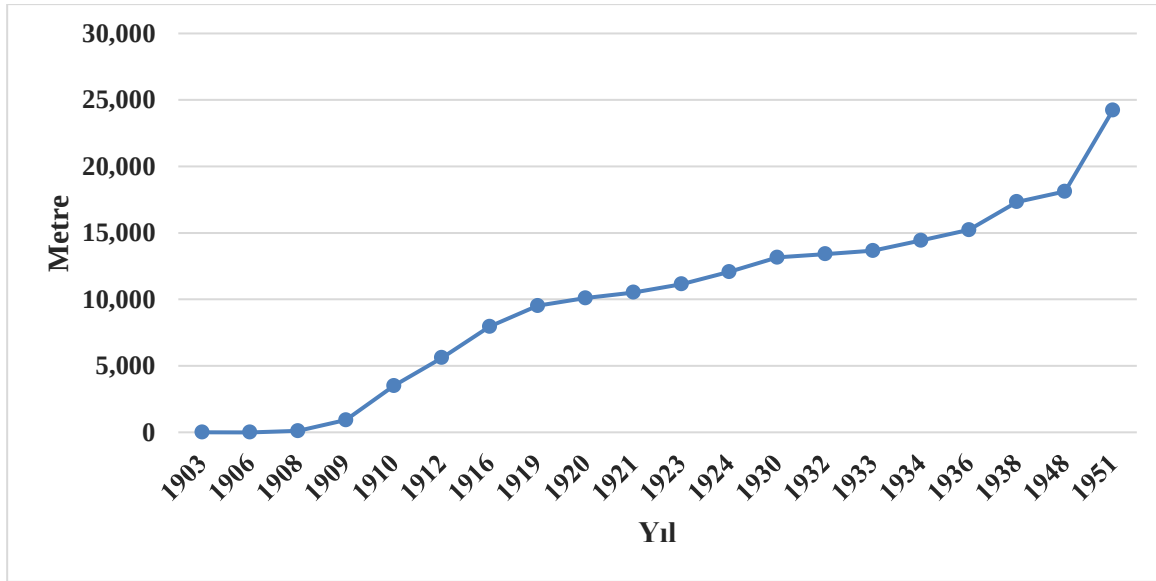
VOR uçaklar için uçağın konumunu belirlemesini sağlayan bir tür kısa menzilli radyo navigasyon sistemidir. 1946 yılında ABD standardı haline gelmiş ve daha sonra ICAO tarafından uluslararası bir standart olarak kabul edilmiştir (Kayton, M., Fried, R., W. 1997: 122). ILS özellikle sınırlı görüş

zamanlarında, uçakları belirli bir piste yönlendirmek için kullanılan bir radyo verici istasyonlar topluluğudur. İlk olarak 1939'da ticari olarak kullanılan ILS'in dünya çapındaki gelişimine ICAO tarafından sinyal standartlarının yayınlanması yardımcı olmuştur (Kayton, M., Fried, R., W. 1997: 608).

1927 yılına kadar, motor silindirleri doğrudan uçağın ana hava akımına maruz kalarak soğutulmuş ancak bu sürtünmeye neden olmuştur. 1903 yılında Wright kardeşlerin “kafa direnci” olarak tanımladıkları parazit sürüklenme problemini mühendisler, Ulusal Havacılık Danışma Komitesi (NACA, National Advisory Committee for Aeronautics) tarafından tasarlanan bir kaporta ile çözmüşlerdir (Anderson 1999: 25).

Uçak performansı üzerine çalışıldıkça sabit hatveli pervanelerin (fixed-pitch propeller) her hızda ve durumda yüksek performans göstermemesi nedeniyle, uçuşta açısı değiştirilebilir hatveli pervanelerin (variable-pitch propeller) 1933 yılında uygulanmaya başlaması da yine bu dönemde gerçekleşmiştir.

Yapılan geliştirmeler sadece sürat üzerine olmayıp, sürekli daha yüksek irtifada seyahat etmenin yolları aranmıştır. 5.500 metre (18.000 feet) yükseklik, daha yüksek irtifalardaki düşük oksijen seviyesi nedeniyle uygun seyir irtifası olarak belirlenmişken, bu soruna ilk çözüm, basınçlı giysi ve yardımcı oksijen kaynağından oksijen maskesi ile solunmuştur. Basınç giysisi kullanan ilk pilot Wiley Post, Aralık 1934'te 16.764 metrelik (55.000 fit) bir irtifa rekoru kırmıştır. Ancak bu pratik bir çözüm olmadığı için, uçağın tüm yolcu kabinine basınç uygulanarak her irtifada uçabilecek bir teknolojik çözüm bulunmuştur (Anderson 1999: 32). 1951 yılına gelindiğinde neredeyse 25.000 (80.000 feet) metrelik irtifaya artık ulaşılabilirdi Grafik 2.4'te görülmektedir.



Grafik 2.4. Havacılık 1.0 ve 2.0 Dönemlerine Ait Uçak İrtifa Rekorları

Kaynak: Fédération Aéronautique Internationale (1999, 22 Şubat), “Records”.
<https://www.fai.org/records> adresinden alındı.

Son olarak bu döneme ait bir diğer önemli teknolojik ilerleme, yüksek oktanlı havacılık yakıtının geliştirilmesidir. Bu sayede motordaki vuruntu azaltılıp performans artışı sağlanmıştır.

Ticari açıdan Avrupa, İkinci Dünya Savaşı sonrası döneme kadar havacılık ve hava yolculuğuna liderlik ettiğinden, bu fırsattan ilk yararlananlar Avrupa havayolları olmuştur (Sevinçel 2018). Bunun sebebi, 1894 yılında Octave Chanute tarafında yazılan “Progress in Flying Machines” adlı kitapta en çok atıf yapılan 10 kişiden 9’nun Avrupalı olup toplamda 191 atıf yapılmasıyla da kolaylıkla anlaşılabilir (Meyer 2013: 122). KLM’nin 1919 yılında Amsterdam Londra arasındaki ilk rotası ile tanıtılması, 1924 yılında tüm İngiliz İmparatorluğu’nu birbirine bağlayan Imperial Airways’in kurulması, Deutsche Luft Hansa’nın 1926 yılında Avrupa’nın en büyük ticari havayolu ağını oluşturmasıyla bu şirketler, saygın mirası bugün de devam eden bayrak taşıyıcılar olarak kurulmuşlardır. Kurulan bu havayolları sayesinde satın alma gücü yüksek olan bireylerin kolay seyahat edebilmelerinin önü açılmıştır. Ayrıca 1936 yılında Douglas DC-3 adlı uçağın devlet sübvansiyonu olmadan yalnızca yolcu hizmetinden kâr sağlayan ilk uçak olması ile, kârlı ve kendi kendini idame ettiren bir iş olarak havayolları çağı da başlamıştır (Sevinçel 2018).

2.1.3. Havacılık 3.0

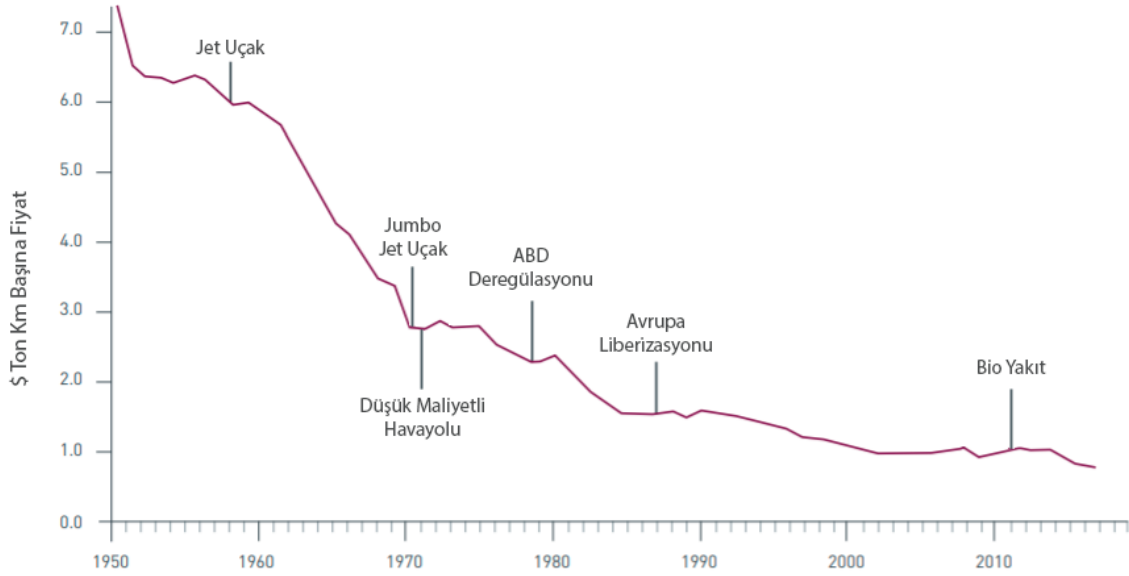
1930’larda modern jet motorunun geliştirilmesi ve ardından geçen 20 senede uygulanmaya çalışılan ticari jet uçağı çalışmaları, transatlantik ve kıtalararası seyahatin hızlı bir şekilde mümkün olabileceği

bir çağın başlangıcını işaret etmiştir. 2 Mayıs 1952'de de Havilland Comet, Londra Heathrow Havaalanı'nda 30.000 seyirci onu izlerken havalandırarak ticari jet uçağı çağını başlatmıştır (Verhovek 2010: 21). Sonrasında yaşanan 3 ölümcül kaza de Havilland için bir son olsa da çıkarılan derslerle Boeing 707'in 1958 yılındaki ilk uçuşu ile havayolu taşımacılığında üretim bayrağı inovatif açıdan aslında sadece devredilmiştir.

Boeing 707, Comet'e göre 3 kat daha fazla yolcu kapasitesine sahipti (Pushkar 2002). Motor performansının da hız kazandığı bu dönemde, turbojet tipindeki motorlardan daha yüksek performansa ve verimliliğe sahip turbofan motorların ticari uçuşlara entegre edilmesi için gayret edilmiştir. Boeing 707'in tanıtımından iki sene sonra, P&W'nin JT3D adlı turbofan motoru ilk defa yine aynı uçakta kullanılmaya başlanmıştır (Smith, Mindel 2000: 144). Bu sayede kıtalararası veya tek duraklı transatlantik uçuş için tasarlanan Boeing 707'ler, ekstra yakıt depoları ve turbofan motorlarla modifiye edilerek Atlantik'i hiç durmadan uçabilir hale gelmişlerdir (Smithsonian 2014). Rolls-Royce Conway turbofan motorlara sahip Douglas DC-8 40 serisi uçakları da Boeing'in hemen ardından kullanılmaya başlanmıştır.

Boeing 747 ilk Jumbo jet olarak, Ocak 1970'de New York'taki John F. Kennedy Uluslararası Havalimanı'ndan Londra'nın Heathrow Havalimanı'na 324 yolcuyla uçarak hizmete girmiştir. Ekonomik durgunluğa rağmen büyük ilgi gören bu çift koridorlu dev uçak, prestijden daha fazlası olduğunu, menzili, kapasitesi ve herhangi bir jetten %30 daha düşük olan koltuk başına işletme maliyetleriyle göstermiştir. Bu sayede dünyada artan talebin ucuz şekilde karşılanması için yeni bir gelişim fırsatı görülmüş, Douglas ve Lockheed gibi dönemin uçak üreticileri de Boeing'in ardından Jumbo jet üreterek pazarda hizmet vermeye başlamışlardır (Sutter 2006: 203).

Hem gövde hem de motor gibi aksamalarda yapılan iyileştirmelerin temelinde aslında daha çok yolcuyla daha ucuza taşıma hedefi yatmaktadır. Bu sebeple, yolcu trafiğinin büyümesinde kilit bir faktör, hava yolculuğunun gerçek maliyetindeki sürekli düşüş olmuştur. Grafik 2.5.'te de görülebildiği gibi 1970'den bu yana maliyetlerde %70'in üzerinde bir düşüş söz konusudur. Maliyetteki bu düşüş, hava yolculuğunun demokratikleşmesiyle erişilebilirlikte bir artışa yol açmıştır. Gittikçe daha fazla insana sunulan çeşitli düşük maliyetli seyahat seçenekleri gelişen dünyada giderek daha erişilebilir hale gelmiştir (ICAO 2019).



Grafik 2.5. Havayolu Taşımacılığında Tarihsel Fiyat Gelişimi

Kaynak: Yazar, ICAO (2019), “Aviation Benefits Report”.
<https://www.icao.int/sustainability/Documents/AVIATION-BENEFITS-2019-web.pdf>

Bu dönem aynı zamanda uçaklarda kullanılan mekanik sistemlerin kademeli olarak elektronik araçlarla değişmeye başladığı bir dönemdir. Yeni elektronik cihazlar, eski gösterge karmaşasını azaltırken, çok sayıda göstergenin sentetik ve analitik olarak pilotların bilinçli karar almalarını desteklemek için daha anlaşılır bir şekilde tasarlanmasını sağlamıştır (Valdes vd. 2018: 227). Fly-by-wire gibi sistemler de mekanik bağlantılar yerine pilot veya oto pilot tarafından yapılan kontrol hareketlerini elektronik eşlenikleri ile değiştirilmesini sağlayarak, ağırlık azaltılmasından güvenlik artışına kadar birçok alanda avantaj sağlamışlardır. Bu elektronik geçiş, uçaklarda artan bilgi miktarının artışının da etkisi ile pilotların uçaktaki aktif uçuş rolünün yerini izleme yani operatör rolüne kaymasına sebep olmuştur. Bu rol değişikliği sektörde yeni bir sorunu daha ortaya çıkarmıştır. Tarihsel olarak güvenlik sorunlarına teknolojik çözümler arama eğiliminde olan havacılık, pilotların değişen rollerine uygun temel davranış değişikliği yoluyla güvenliğin artırılabilmesinin ortaya atılmasıyla farklı bir vizyona sahip olmak için ilk adımı atmıştır. Bu vizyon ilk John Lauber'in Haziran 1979'da yaptığı ortak NASA (National Aeronautics and Space Administration, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) çalışmayı Mürettebat Kaynak Yönetimi' dir. Çalıştay, United Airlines tarafından şimdi Ekip Kaynak Yönetimi (CRM, Crew Resource Management) olarak bilinen eğitimi, 1981 yılında ilk defa vermesiyle kurumsallaşıp tüm diğer havayollarının ilk uygulamaları için şablon olmuştur (Macleod 2021: 2). İlk yıllarda sadece pilotları kapsayan eğitimler, havacılığa dahil olan tüm kişi ve kurumların dahil edilmesiyle daha kapsamlı ve

etkin bir yapıya dönüşmüştür. Son haliyle CRM, güvenli ve verimli uçuş operasyonları gerçekleştirmek için mevcut tüm kaynakları, bilgileri, ekipmanı ve insanları kullanmak olarak ifade edilebilir (Kanki, Helmreich, Anca 2010: 5).

En büyük teknolojik gelişmelerin başında olan GPS (Global Positioning System, Küresel Konumlama Sistemi) kullanımının ticari havayollarına entegre edilmesi yine bu dönemde gerçekleşmiştir. Bu hem Havacılık 3.0 için hem de tüm havacılık tarihi için en kritik eşiklerinden biri olarak görülmektedir. 1983 yılında Başkan Reagan, hava yolculuğu için güvenliği artırmak amacıyla sivil ticari havayolları tarafından GPS kullanımına izin vermiştir. GPS teknolojisi 1980'ler ve 1990'lar boyunca geliştirilmeye devam edilmiştir (Aerospace 2021). 1994 yılında Federal Havacılık İdaresi, IFR (Instrument Flight Rules, Alet Uçuşu) operasyonlarında kullanım için ilk GPS ünitesini onaylaması havacılıkta önemli bir dönüm noktası olmuştur (Connor 2014).

Bu dönem teknolojik gelişmelerin yanı sıra, regülatif olarak da dünyada büyük değişimlerin yaşandığı bir dönem olmuştur. 1978 yılında Amerika'da imzalanan Havayolu Serbestleştirme Kanunu ile Avrupa'da 1987, 1990 ve 1992 yıllarında imzalanan Havacılık Serbestleştirme Paketleri en önemli regülasyonlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'de ise 1983 yılında yayınlanan 2920 numaralı Türk Sivil Havacılık Kanunu yer almaktadır. Bu serbestleştirme yasaları sayesinde artan rekabet ve pazara giriş kolaylığı ile birlikte, verilen hizmet kalitelerinde artışa, bilet fiyatlarında düşüşe ve genel verimlilik artışına imkan tanımıştır.

Son olarak havacılık endüstrisi tüm sektörlerde hızlanan ekolojik kaygıları bu dönemde içselleştirmeye başlamış, sürdürülebilir olabilmek ve daha küçük karbon ayak izine sahip olmak için geleneksel jet yakıtına alternatifler araştırmaya başlamıştır. 2050 yılına kadar havacılığın küresel karbon emisyonlarına katkısı, toplam sera gazı emisyonlarının %5'ini temsil edeceği düşünülmektedir. Bu rakamlar hala nispeten düşük olsa da büyüyen bir karbon ayak izi hiçbir endüstri için kabul edilmemelidir (Mrazova 2014: 111). Geleneksel fosil jet yakıtlarına alternatif olarak güneş enerjisi ve biyoyakıtlar, karbon emisyonlarını azaltmak için en önemli çözümlerden biridir. 1981 yılında Stephen Ptacek, "Solar Challenger" adlı güneş enerjili bir uçakla uçarak Manş Denizi'ni geçen ilk güneş enerjili uçuşu gerçekleştirmiştir (Monroe 1981). 2011 yılında Lufthansa, standart uçuş operasyonlarının bir parçası olarak biyoyakıtı test eden ilk ticari havayolu olmuştur (Lufthansa 2020). IATA tarafından fosil yakıtlarla %50 oranında kullanım sertifikaları verilmiş olup hidrojen gibi yeni yöntemler firmalarca araştırılmaya devam edilmektedir.

2.1.4. Havacılık 4.0

Geçtiğimiz yüzyılın başında Wright kardeşlerin uçuş deneyimleri insanoğluna inanılması güç bir seyahat yöntemi ve hızını takdim ederken, 21. yüzyıl başlarında bu seyahat türünün yaygınlaşması, özelleştirilmesi ve rekabet unsurlarıyla birlikte hava taşımacılığı büyük bir kitleye hitap edebilmeyi başarmıştır (Alkış 2016: 4). Bu çağ, girişimci ruhun doruk noktasında olduğu ve olağanüstü bir hızla ilerleme kaydedildiği havacılığın öncü çağı olan havacılık 1.0'a çok benzer bir çağdır. Havacılık 2.0 ve 3.0'ın gelişimiyle dünyanın birdenbire bağlantılı ve ulus ötesi hale gelmiş, küresel siyaseti, ekonomiyi dönüştürmüş ve benzeri görülmemiş bir oranda entelektüel ilerlemeye mümkün kılmıştır.

Havacılık 4.0'ın bu muazzam dönüşü karşısında uçaklar ironik bir şekilde son 60-70 yıldır temelde aynıdır. Daha büyük, daha verimli, daha sessiz ve yüksek menzilli olsalar da örneğin dünyanın en çok satan uçaklarından Boeing 737 1967'den beri neredeyse aynıdır (Lacy 2001). Geçmişteki yenilikler, daha hızlı, daha uzun mesafelere ve daha yüksek kapasitelerle uçmak iken, bundan sonra gelen yenilikler sürdürülebilirlik, güvenilirlik ve emniyete odaklanmaktadır (Aeroclass 2021). Bu durgunluğa, farklı odaklara ve beklenen Schumpeter yıkımının gelmemesine rağmen bu dönem, çok farklı alanlarda teknolojik gelişmelere sebep olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Bu döneme ait teknolojik, tasarımsal ve regülatif tüm gelişmeleri 7 başlık altında incelenebilir.

2.1.4.1. Havacılık 4.0 Dönemindeki Gelişmeler

2.1.4.1.1. Veri, Dijitalleşme ve Bağlantı

General Electric jet motorları, saniyede 5.000 veri noktasından bilgi toplamaktadır. Boeing 787, bir uçuşta ortalama 500 GB sistem verisi üretirken, Airbus A380 25.000'den fazla sensörle donatılmıştır. Bu verilerin çoğu, bakım programlarının oluşturulması, yedek parçaların konumlandırılması ve ekipman arızalarının tahmini için iletilirken, bu sistemler günümüzün büyük verisine ve nesnelerin internetine dönüşen şeyin öncülerini temsil etmektedir. Bu sensörler tarafından üretilen verileri toplayarak ve bunları uçaktaki ve yerden ek veri kaynaklarıyla birleştirerek, uçağı daha verimli ve güvenli bir şekilde çalıştırmak için uçuş sırasında bilgi akışı sağlanabilmektedir (Shah 2014).

Bir uçak parçasının ne zaman arızalanacağını tahmin etmek, yaklaşan arızalar konusunda uyarmak ve bunları önlemek için yapılacak en iyi eylemi belirlemek için bilişsel tanımlama, yapay zeka ve endüstriyel nesnelerin internetinin gücü kullanılmaktadır (Honeywell 2021). Tablo 2.2.'de Yapay zekanın havacılıkta kullanıldığı alanlar ve faydaları listelenmiştir.

Tablo 2.2. Yapay Zeka Uygulamalarının Amaçları ve Faydaları

ALAN	FAYDA
Trafik Tahminleri / Öngörüler / Modelleme	1. Uçak yörünge tahminlerinin iyileştirilmesi, belirsizliğin azaltılması ve kapasitenin artırılması
Kaynak Yönetimi / Optimizasyon	1. Sektörlerin optimal konfigürasyonunu devreye sokmak ve böylece mevcut kaynaklarla kapasiteyi optimize etmek 2. Hava trafik yönetim talebini ve kapasite dengelemeyi desteklemek
İş Yüğü / Otomasyon / Özerklik	1. Hava trafik kontrolörü iş yükünün azaltılması (ör. kontrolör yardımı için konuşma tanıma modellerinin kullanılması) 2. Güvenlik istihbarat araçlarıyla riskleri azaltmak
Havalimanı Performansı	1. Pist çıkışının iyileştirilmesi (örneğin, Pist kullanım tahmini, mesafenin iyileştirilmesi) 2. Havaalanı gecikmelerini azaltmak
Yolcu Deneyimi	1. Yolcu transferi/müşteri memnuniyetinin iyileştirilmesi 2. Güvenli uçağa binmeyi hızlandırmak için biyometreyi kullanma
Altyapı İzleme	1. Küresel uydu seyrüsefer sistemi (GNSS, Global Navigation Satellite Systems) izlemenin iyileştirilmesi 2. Siber güvenlik izleme
Havadaki Yetenekler	1. Doğrulama yeteneklerini geliştirme 2. Çevresel iyileştirmeler üretmek 3. Otomatik konuşma tanıma yoluyla Pilot ve kontrolör asistanı 4. Bilgisayarlı görme ile sağlanan otomatik taksi, kalkış ve iniş ile güvenliğin artırılması
Havayolu Performansı	1. Yakıt kullanımını optimize etme 2. Daha iyi ve fazla rota önermek

Kaynak: Eurocontrol (2020), “The Fly AI Report”.
<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-03/eurocontrol-fly-ai-report-032020.pdf>

Ticari sınıf tabletler, büyük veriden türetilen yeni uygulamalar oluşturma fırsatı sunmaktadır. Pilotlar, bakım sensörlerinden, hava durumu radarından ve yakındaki veya aynı rotadaki diğer uçaklardan gelen operasyonel verilerin anında analiz edilmesiyle, kısa sürede soruları yanıtlayan bir uygulamaya erişebilmektedir. Örneğin, bu tür bir uygulama pilota daha optimum bir motor gaz ayarı, daha avantajlı veya rahat bir irtifa veya sert hava koşullarında daha iyi tahmin edilen bir rota önerebilmektedir (Shah 2014).

Buna karşılık, aynı veriler tüm bir filodaki yüzlerce uçuş için toplanabilir ve belirli rotalar hakkında mükemmel bir operasyonel genel bakış sağlar. Bu büyük veriyi analiz etmek ve onu iş zekası ve davranışsal analitikle birleştirmek, pilot yeterliliği ve gerçekçi uçuş simülatörü zorlukları için eğitim senaryoları üretebilmektedir. Bu, havayolu ve ticari uçak operatörlerine yalnızca en üst düzeyde güvenlik hazırlığı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda potansiyel maliyet tasarruflarını da sağlamaktadır (Shah 2014). Örneğin, Lufthansa Systems'in iyileştirilmiş ve gerçek zamanlı uçuş

planlama yazılımı Lido Flight 4D'nin dünya çapındaki uçakların %25'inden fazlasında kullanılmakta olduğu, optimum uçuş planlama ve en uygun rotayı anlık olarak değerlendirerek, uçaklarda uçuş süreleri, maliyetleri optimize etmelerini ve %5'e varan yakıt tüketimi tasarrufu sağladığı belirtilmektedir (Lufthansa Systems 2020).

Büyük verinin ve bağlantılı operasyonların kullanım alanları uçaklar ve havayolu taşımacılığı ile sınırlı değildir. Örneğin, 2017 yılında NASA'nın devreye aldığı ATD-2 (Airspace Technology Demonstration, Hava Sahası Teknoloji Gösterimi) sistemi ile hava trafik yönetiminde karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek için havalimanı trafik koşullarını öngören, havaalanları boyunca uçuş akışını optimize eden ve kalkış için en uygun zamanı anlık olarak tespit edilebilir hale getirmiştir. Bu sayede gecikmelerde, yakıt tüketiminde ve bakım maliyetlerinde azalma sağlamıştır (NASA 2021).

Dijitalleşme kapsamında, pilot eğitim maliyetlerini düşürmek ve eğitimden alınan faydayı maksimize etmek için Central Florida Üniversitesi Simülasyon ve Eğitim Enstitüsü'ndeki Boeing mühendisleri sanal yardımcı pilotları devreye almaya başlamıştır. Program farklı cinsiyetler, kültürler ve dillerde özelleştirilebilen bir yardımcı pilot avatari yaratarak, sanal gerçeklik gözlükleri ile kursiyerler sanal pilotu görebilir ve gerçek bir yardımcı pilotla olduğu gibi sanal yardımcı pilotla sohbet edip, sorgulayabilecekleri sürükleyici bir eğitim deneyimine sahip olabilmektedirler. Sanal yardımcı pilot teknolojisi, uçuş güvertesinde ikinci bir kişiye olan ihtiyacı ortadan kaldırarak eğitimi kolaylaştıracak, maliyetleri düşürecek ve nihai hedef olarak, pilotun istedikleri ortamda birden fazla senaryoyu uygulayabilecekleri bir mobil paket olması beklenmektedir (Boeing 2017).

2.1.4.1.2. Otomasyon

Uçuş otomasyonu, başlangıçta ilkel ve daha manuel olmasına rağmen, bir yüzyıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır. Son 50 yılda otomasyon, oto pilottan tamamen entegre bir sisteme geçerek pilotlar, uçaklar ve çevre arasındaki ilişkiyi önemli ölçüde değiştirmiştir (Huang 2021). Bu değişim yavaş ve stabil bir şekilde gerçekleşmiştir. Çünkü otomasyon, devrimci bir yaklaşımdan ziyade evrimsel bir yol izliyor gibi görünmektedir. Belirli bir teknolojinin havacılık alanında uygulanabilmesi için gerekli olan şartlardan biri de güvenilirliğidir; operasyonel bir ortamda tamamen test edilmemiş veya denenmemiş yüksek hızlı bir sistem yerine daha yavaş ancak güvenilir bir sisteme sahip olmak tercih edilmektedir (Chialastri 2012: 85).

Havacılıkta otomasyonun gelişimi dört aşamada gerçekleşmiştir. İlk aşama mekanik; çevrenin sanallaştırılmasına yönelik altimetre gibi temel mekanik ekipmanların kullanımı. İkinci aşama elektrik;

eski mekanik aletlerin elektrikli cihazlarla yer değiştirmesi ve yeni elektrikli cihazların kullanımı ile aletli iniş sistemleri gibi sistemlerin kullanılmaya başlanması. Üçüncü aşama; entegre bilgisayar sistemleri, elektrikli ekipmanların bilgisayarlar ve LCD gibi ekranlar ile entegrasyonu ile uçtan uca yönetime başlanması. Dördüncü ve son aşama, bilişsel sistemler, pilotun rol ve sorumluluklarının yapay zeka ve makine öğrenmesi gibi teknolojiler sayesinde sistemlere devredilmeye başlanmasıdır.

Son gelişmeler, aslında uçakların bilinçlenip ilk etapta taktiksel ve operasyonel, sonrasında da stratejik ve uçtan uca karar alır noktaya gelmesini sağlayıp tam otonom uçuşun önünü açmayı hedeflemektedir. Haziran 2018 yılında Airbus'ın başladığı Otonom Taksi Kalkış ve İniş (ATTOL, Autonomous Taxi, Take-Off & Landing) projesini 2020 yılında tamamlayarak Airbus, havacılıkta bir ilk olan yerleşik görüntü tanıma teknolojisini kullanan tam otomatik vizyon tabanlı uçuş testleri yoluyla ticari bir uçağın otonom taksi, kalkış ve iniş yapmasını sağlamıştır. ATTOL projesi, veri etiketleme, işleme ve model oluşturma için makine öğrenimi algoritmalarının ve otomatik araçların kullanımı da dahil olmak üzere otonom teknolojilerin kullanımıyla gerçekleşirken, mevcut aletli iniş sistemi yerine, doğrudan uçaklara kurulan görüntü tanıma teknolojisi ile gerçekleşmiştir (Airbus 2020).

2.1.4.1.3. İnsansız Hava Araçları ve Kentsel Hava Hareketliliği

İnsansız hava aracı sistemi (İHA, Drone, UAS, Unmanned Aircraft Systems, UAV, Unmanned aerial vehicle) veya uzaktan kumandalı hava aracı sistemi (RPAS, Remotely Piloted Aircraft Systems) olarak adlandırılan insansız hava aracı içinde insan pilotu olmayan bir uçan makinedir. Uçuş, gömülü bilgisayarlar tarafından otonom, yarı otonom veya tam manuel uzaktan kumanda ile kontrol edilebilmektedir (Estrela vd. 2020). İnsansız hava aracı teknolojisinin ticari uzay taşımacılığı ile birlikte havacılık 4.0'a damga vurduğunu söylemek mümkündür. Hobi amaçlı insansız hava araçlarının ucuzlaması, gelişen pil teknoloji, azalan gürültü ve askeri amaçlı insansız hava araçlarına yapılan büyük yatırımlar bu etkiyi artırmış ve hızlandırmıştır.

İnsansız hava araçlarının tarihi 18.yy'ın sonlarına (Buckley 1999:23) kadar geri gitse de modern insansız hava aracı tarihi 1980'lerden itibaren başlamış sayılmaktadır. Havacılık 4.0 ile birlikte yapay zeka, makine öğrenmesi, güç üniteleri, sensörler gibi uygulanabilir ve erişebilir teknolojilerin artışı ile hem insansız hava araçlarına ilgi hem de insansız hava araçlarının yetenekleri artmaya başlamıştır. Havacılık 4.0 döneminin ana hedefi, insansız hava araçlarının zeka düzeyini yükseltmek ve insani karar verme düzeyini geliştirmektir. Bunun yanı sıra, havacılık 4.0, siber-fiziksel teknoloji kullanarak insansız hava araçlarını minimum düzeyde insan bağımlılığıyla iyi bir şekilde yönetmek için bir platform ve yaklaşım sağlamaya çalışmaktadır (Kahraman, Aydın 2022: 412).

Gelişen bu teknolojilerle insansız hava araçları, gündelik hayatımızda daha çok yer almaya başlamıştır. Askeri ve afet bazlı kullanımlardan, son tüketiciye daha çok etkisi olan tarıma, kargo taşımacılığına ve insan taşımacılığına hızlı bir şekilde adapte edilen insansız hava araçları, geleceğin şehirlerinin, ulaşım mantığının ve dünyayı sadece yerden değil havadan görmeye alıştıkları için insanların mekansal algılarının değişmesi gerektiğini göstermiştir.

EHang 184, 2016 Ocak ayında Tüketici Elektroniği Fuarı'nda (CES, Consumer Electronics Show) bir insan yolcu taşıyabilen dünyanın ilk insansız hava aracı olarak tanıtılmıştır. EHang, şarj edilmesi gerekmeden önce 23 dakikalık bir süre boyunca 100 kilo ağırlığa kadar bir insanı taşıyabilmektedir (Reisinger 2016). 2019 yılında Boeing tarafından test uçuşu gerçekleştirilen otonom yolcu hava aracı (PAV, Passenger Air Vehicle) ile yarışa katılmış, bu yeni mobilite ekosisteminin yaratılmasına katkı sağlamaya başlamıştır (Boeing 2019). 2021 yılı itibarıyla çeşitli firmalar tarafından 600'den fazla dikey kalkış ve iniş yapan elektrikli hava aracı (eVTOL, Electric Vertical Take-off and Landing) tasarımı üzerine çalışılmıştır (eVTOL News 2022) ve bu çalışmalar eVTOL geliştirilmesine öncülük ederken, uçan taksileri yakın bir gelecekte mümkün kılabilceği düşünülmektedir.

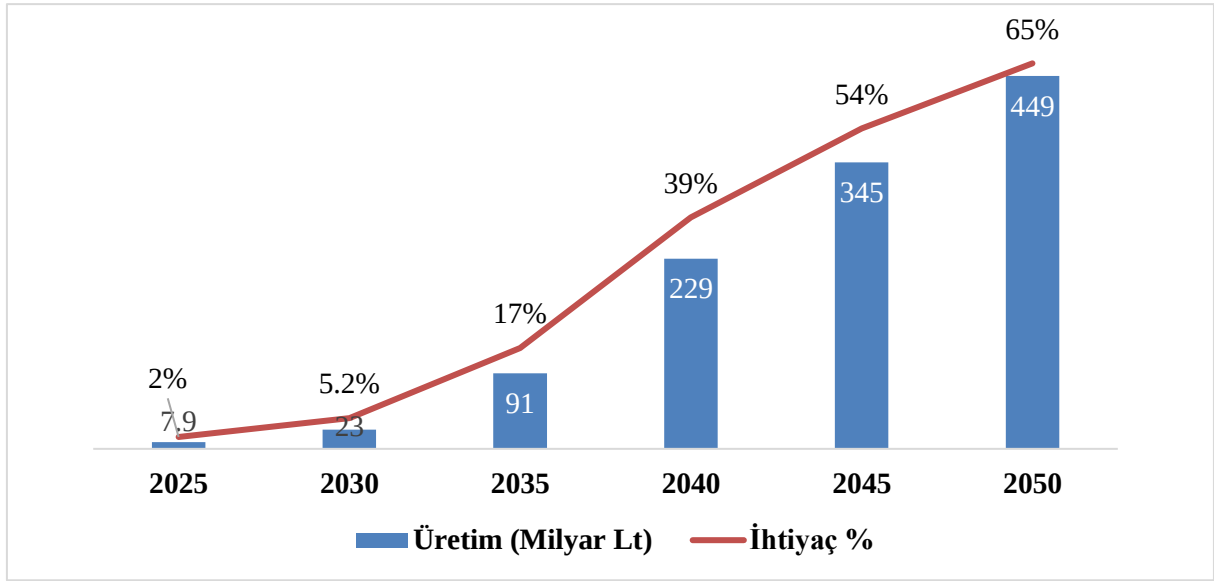
Ulaşım seçeneklerinin artmasıyla yaşanan karmaşayı en aza indirmek ve tek noktadan kullanmak için hizmet olarak mobilite (MaaS, Mobility as a Service) servislerinin de çıkmasıyla kişisel ulaşım aracı sahipliğinden hizmet olarak sağlanan mobiliteye geçişi de hızlandırmış, kullanım, mekan ve araç tercihlerinde keskin değişikliklere sebep olmaya başlamıştır. Japon ANA havayolu firmasının 2019 yılında duyurduğu Evrensel MaaS, ulaşımı ve ödemeyi basitleştirirken, bisikletten kiralık araca kadar çok çeşitli seçeneklerin yer aldığı çok partili ve kapsamlı bir mobil hizmet yaratmayı hedeflemiştir (ANA 2019). Özellikle insan taşıyan insansız hava araçlarının kentsel alanlarda önemli bir ulaşım seçeneği olmaya başlaması ve bunun da şehir ve bina yapısını değiştirmesi beklenmektedir. İnsan taşıyan insansız hava araçları, insanların artık zemin seviyesinden binalara girmesi gerekmeyeceğinden ve bunun yerine doğrudan herhangi bir kata uçabileceklerinden, binaların yapım şeklinin tamamen yeniden düşünülmesine yol açmıştır (Fairs 2017). Bu değişikliklerin başında iniş pistleri, enerji verimliliği için güneş fotovoltaik panelleri, teslimat insansız hava araçlarının için şarj noktaları ve gürültü emisyonlarını azaltmak için çevre düzenlemeleri gelmektedir (Brown 2020).

2.1.4.1.4. Elektrifikasyon ve Yeşil Enerji

Havacılık sektörü, küresel enerji krizleri ve iklim değişikliği söz konusu olduğunda önemli bir oyuncu olarak değerlendirilmektedir. 2018'de, havacılığın 1,04 milyar ton karbondioksit (CO₂, Carbon Dioxide)

saldığı, küresel karbondioksit emisyonlarının %2,5'ini oluşturduğu ve 1980'lerden günümüze ikiye katlandığı (Ritchie 2020), tüm ulaşım kaynaklarından kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının %12'sinden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir (ATAG 2020). Bu nispeten küçük bir miktar gibi görünse de küresel ticari havacılık ulusal karbondioksit emisyon sıralamasında bir ülke olsaydı, Japonya ve Almanya arasında dünyada altıncı sırada yer alırdı (Overton 2019). Uygulanan daha verimli motor ve rota gibi çok çeşitli teknolojik gelişmeler, havacılığın çevresel etkilerini 2009 – 2019 arasında ortalama yıllık yakıt verimlilik artışının %2 civarında olduğu düşünüldüğünde (ATAG 2020), sektörün karbon salınımının dramatik şekilde azalmadığı görülmüştür. Bu problemle başa çıkabilmek için Amerika'da 2021 Havacılık İklim Eylem Planı, Avrupa'da Flightpath 2050 hedefleri devreye alınmıştır. Flightpath 2050 kapsamında, karbondioksit emisyonlarında %75, nitrojen oksit (NOx, nitrogen oxides) emisyonlarında %90 ve gürültü emisyonunda %65'lik bir azalma hedeflenmektedir (European Commission 2011).

Bu hedeflere yaklaşabilmenin en hızlı ve kolay yollarından birisi geleneksel fosil kerosen yakıtlar yerine (CAF, Conventional Aviation Fuel) biyoyakıt gibi sürdürülebilir havacılık yakıtlarının (SAF, Sustainable Aviation Fuel) kullanılması önerilmiştir. Biyoyakıtlar karbondioksit açısından nötr olmasının yanı sıra aynı zamanda yakıt olarak daha verimlidir ve genel olarak çevreye önemli ölçüde daha az zararlıdır. Diğer bir avantaj ise, uçakların bu amaç için modifiye edilmesine gerek olmamasıdır (Wiegand 2021). Boeing, Virgin Atlantic ve GE Aviation, 24 Şubat 2008'de geleneksel fosil kerosen jet yakıtı ile karıştırılmış sürdürülebilir bir biyoyakıt kullanarak ilk ticari havacılık uçuşunu gerçekleştirmiştir (Boeing 2008: 16). İlk kullanımdan 10 sene sonra 2018'de yaklaşık 15 milyon litre olan havacılık biyoyakıtı üretimi, toplam havacılık yakıtı tüketiminin %0,1'inden daha azını oluşturmuştur (Le Feuvre 2019). Bu yavaş gelişmeye rağmen tahminler, 2050 yılında ihtiyaç duyulan havacılık yakıtının %65'inin biyoyakıttan karşılanabileceğini Grafik 2.6'da yer almaktadır. Dünyanın ilk net sıfır emisyonlu %100 sürdürülebilir havacılık yakıtı ile yapılan transatlantik uçuşunun ise, İngiltere hükümeti ve endüstrisi tarafından 2023 başlarında gerçekleştirilebileceği duyurulmuştur (GOV.UK 2022).

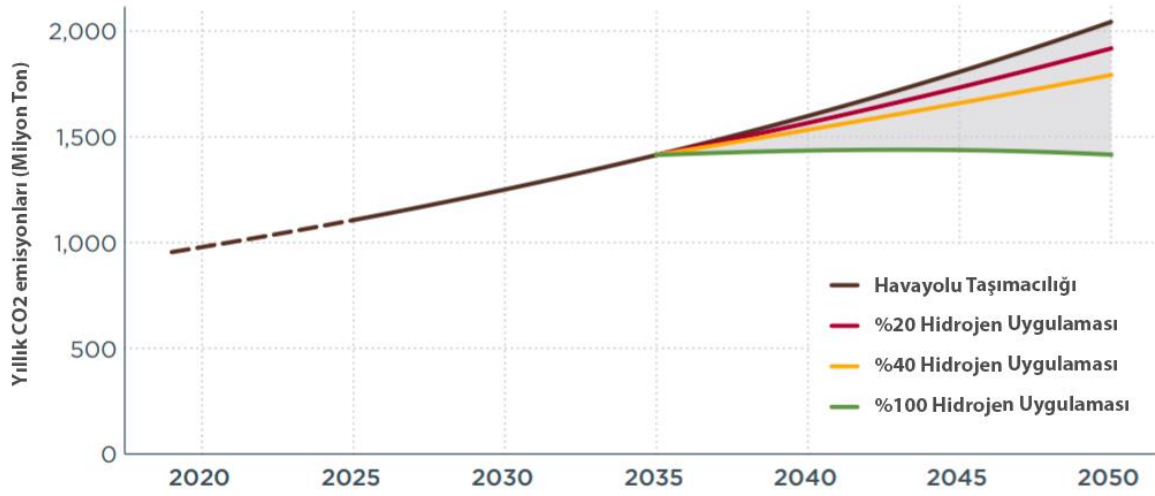


Grafik 2.6. Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı Kullanım Tahmini 2025-2040

Kaynak: Mazareanu, E. (2021, 6 Ekim), “Forecast of sustainable aviation fuel used worldwide 2025-2040”. <https://www.statista.com/statistics/1267846/sustainable-aviation-fuel-worldwide/> adresinden alındı.

Biyoyakıtlar dışında otomotiv sektöründe olduğu gibi havacılık sektöründe de fosil yakıtlar yerine elektrikli motorlara geçiş ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Geleneksel elektrik kaynaklarının düşük yoğunluğu ve yüksek ağırlığı yakın gelecekte büyük yolcu uçakları için bir alternatif olarak görülmesi de küçük uçaklar ve insansız hava araçları için gerçekçi birer seçenek olarak durmaktadır (Cordis 2021: 15). NASA, X-57 Maxwell isimli deneysel hafif uçağıyla lityum piller kullanarak yaklaşık bir saatlik bir uçuşu sağlamak üzerine çalışmaktadır (NASA 2018).

Lityum piller yerine hidrojen yakıt hücreleri (fuel cell) kullanımı, geleneksel pillerin ağırlık ve performans sorunlarını çözebileceği düşünüldüğünden son dönemlere bu alana çok daha fazla yatırım yapılmıştır. ZeroAvia adlı İngiliz uçak üreticisi, altı kişilik Piper M adlı ticari sınıf uçağı ile 250 millik dünyanın ilk hidrojen yakıt hücreli uçuşunu Eylül 2020’de tamamlamıştır (ZeroAvia 2020). Airbus Eylül 2020’de duyurduğu ZEROe projesi (2035 yılına kadar dünyanın ilk sıfır emisyonlu ticari uçağı üretim vizyonu) kapsamında, A380 üzerinde hidrojen enerjisiyle çalışan uçak motoru denemeleri yapacağını Şubat 2022’de duyurmuş ve bu kapsamda CFM International adlı uçak motoru üreticisiyle anlaşma imzalamıştır (Airbus 2022). Bu ve benzeri çalışmaların, tabana yayılımı ve yaygın kullanımı ile birlikte önümüzdeki yıllarda karbon emisyonunun düşürülmesi adına büyük faydaları olacağı düşünülmektedir.



Grafik 2.7. Uçaklarda Hidrojen Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkisi 2020-2050

Kaynak: Mukhopadhaya, J., Rutherford, D. (2022), “Performance Analysis of Evolutionary Hydrogen-Powered Aircraft”, *ICCT*, January 2022.

Hidrojen doğal bir yakıt olmayıp, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi maddelerden üretilen sentetik bir yakıttır. Bu sebeple hem sınırsız değildir hem de üretim, lojistik ve depolama maliyetlerinden ötürü ucuz da değildir. Hidrojene alternatif olarak güneş enerjisinin kullanımı bir olasılık olarak öne çıkmıştır. Solar Impulse 2, 17.000'den fazla güneş piliyle çalışan, sadece iki ton ağırlığında olmasına rağmen bir jumbo jetin kanat açıklığına sahip bu uçak, 2015 yılında 16 aydan fazla bir süreyle dünyanın etrafını dolaşmayı başararak bu alternatifin işe yarayabileceğini göstermiştir (Harvey 2016).

2.1.4.1.5. Tasarım

Son 70 yıldır yolcu uçakları tasarım olarak temelde aynı olsa da bu herhangi bir gelişme olmadığı anlamına gelmemektedir. Kullanılan malzemeden üretim tekniğine kadar binlerce farklı tasarım alanında yıllar içinde çok çeşitli gelişmeler yaşanırken, endüstri 4.0 ile birlikte gelen teknolojilerin büyük desteğiyle, maliyet, güvenlik, estetik ve sürdürülebilirlik anlamında kayda değer ilerlemeler sağlanmıştır.

Bu ilerlemenin başında uçaklarda kullanılan kompozit malzemelerin kullanım oranlarının ve alternatif kullanım alanlarının artmasıdır. Düşük ağırlık ve yüksek dayanıklılık sebepleriyle tercih edilen kompozit malzeme, 1930'ların sonlarından beri uçaklarda kullanılmaktadır (Thomas Insights 2019).

Ancak en yaygın kompozit materyallerden olan fiberglas ilk olarak 1950'lerde Boeing 707 yolcu jetini tasarlamak için kullanılmıştır (Thomas 2013). Günümüzde üretilen yolcu uçaklarında kullanılan kompozit malzeme oranı %50'in üzerine çıkarken (Zhang vd. 2020: 7122), askeri alanda ise Northrop Grumman B-2 Spirit adlı hayalet bombardıman uçağının neredeyse tamamı kompozit materyalden imal edilmiştir (Boyne 2002: 466). Yaygın kullanım dışında, kompozit malzemelerin uçaklar için enerji depolayabilmesi adına AB tarafından fonlanan SORCERER konsorsiyumu gibi girişimler, kompozit materyalin yalnızca bir uçağın mekanik yükünü taşımakla kalmayıp, aynı zamanda sistemlerine güç sağlamak için gereken elektrik enerjisini de depolayabilen yüksek performanslı bir malzeme dönüşmesi için çalışmaktadır (Cordis 2021).

Üç boyutlu yazıcıların kullanımının ve kullanım alanlarının artması, uçaklardaki kompozit malzemelerin kullanımının yaygınlaşmasına destek olmuştur. Ağırlık, maliyet, esneklik, üretim hızı ve aerodinamik açısından daha verimli komponentler üç boyutlu yazıcılarla akıllı malzemeler olarak üretilip uçaklarda kullanılmaya başlanmıştır. T25 olarak bilinen kompresör giriş sıcaklık sensörü, 2015 yılında ABD Federal Havacılık İdaresi (FAA, Federal Aviation Administration) tarafından GE ticari jet motorlarının içinde uçmak için onaylanan ilk üç boyutlu baskılı parça olmuştur (GE 2015). Eski parçaların yenilenmesinden, tedarik problemleri yaşanması durumunda alternatif üretime kadar geniş bir yelpazede kullanım imkanı sunan üç boyutlu baskı, günümüz uçak üreticileri arasında artık yaygın olarak kullanılmaktadır. 2025'te hizmete girmesi öngörülen Boeing 777X, her biri 300 üç boyutlu baskılı parçaya sahip iki GE Aviation GE9X motoruna sahiptir (Bellamy 2020).

Yaşanan bu gelişmelerin nihai hedeflerinden biri olan maliyet düşürme çabaları, havacılık 3.0 döneminde gövde genişletme çalışmalarının sonucu olan Boeing 747 ve Airbus A380 gibi devasa uçakların kullanılmaya başlamasıyla başarılı bir şekilde sonuçlansa da kat edilen hızda majör bir gelişme olmaması, havacılık 4.0 döneminde üreticilerin süpersonik yolcu uçağı geliştirmeye tekrar odaklanmasına sebep olmuştur. Süpersonik yolcu uçağı çalışmaları aslında Sovyet Tupolev Tu-144 ve Fransız-İngiliz Concorde ile 1968 yıllarına kadar geri gitmektedir (Chittum 2018). Ancak Concorde, 27 yıllık faaliyetinin ardından 2000 yılındaki yüksek profilli bir kazadan sonra, yüksek bilet fiyatları, yüksek yakıt tüketimi ve giderek artan bakım maliyetleri ile birlikte finansal olarak işleyemez hale gelmiş (Thomas 2021) ve 24 Ekim 2003'te New York'taki John F. Kennedy Uluslararası Havalimanı'ndan Londra'daki Heathrow Havalimanı'na sesin iki katı hızında seyahat ederek son ticari yolcu uçuşunu gerçekleştirmiştir (Muldowney 2021).

Zamanın çok ötesinde olan bu ikonik uçağın talihsiz serüveni sektörden beklenildiği şekliyle bir öncü olarak kabul edilip ders çıkartılarak süpersonik uçaklar üzerine çalışılmaya devam edilmiştir. Başarılı olamayacağı öngörüldüğü halde harcanan zaman ve para sebebiyle projenin sonlandırılmaması, iktisadi literatüre batık maliyet yanılıgısı referansı olarak “Concorde Yanılıgısı” ismiyle de geçmiştir (Coşkun 2021: 67). Japan Airlines'ın yatırımcıları arasında bulunduğu bir girişim olan ve 2014 yılında kurulan Boom Supersonic, Concorde'dan daha düşük maliyetle 2.2 Mach hızında uçuşması beklenen ticari bir uçak geliştirmektedir (Ros 2018). Boom'un bilet fiyatlarının Concorde'tan %75 daha ucuz olması beklenmektedir (Singh 2022). Ayrıca NASA şu anda Lockheed Martin ile süpersonik patlamayı daha sessiz kılacak deneysel bir uçak olan X-59 QueSST üzerinde çalışmaktadır (Banke 2019). Bu problem geçmişte Concorde'un kara üzerinde uçuş yapmasına engel olup uzun rotalar nedeniyle ticari zorluk yaşamasına neden olmuştur (Waldek 2018).

Sektör, süpersonik uçak üretiminin yanı sıra mevcut uçaklar ve bu uçaklara ait teknolojiler üzerinde menzile artıran ve yakıtı azaltan çalışmalarını da sürdürmeye devam etmektedir. Bu çalışmaların sonucu olarak, uzun rotalar için dar gövde uçakların kullanımı son yıllarda artmıştır (McCarthy 2018). Airbus firmasına ait dar gövde A321-200 uçağının menzili 2700 NM (Turkish Airlines 2019) iken, A319LR versiyonu 4750 NM'a (Airbus 2018) kadar çıkarken bu sayede dünyanın en uzun dar gövde uçuşu (Pearson 2022) gerçekleşebilmiştir.

2.1.4.1.6. Regülasyon ve Güvenlik

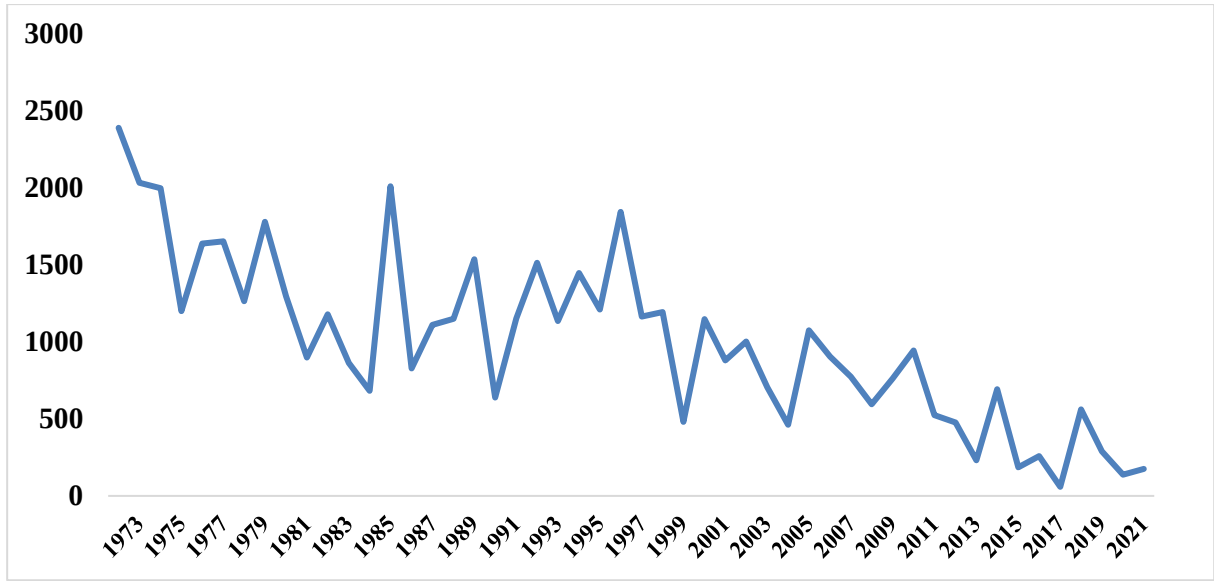
Sivil havacılık regülasyonlarını, regülasyonların majör teknolojik gelişmelerden ziyade güvenlik endişelerinden tetiklemeinden kaynaklı, havacılık endüstriyel devrimlerinden kısmen bağımsız, 3 dönemde ele almak gerekmektedir. 1. Dönem, ilk defa 1910 yılında Paris'te yapılan Uluslararası Hava Seyrüsefer Konferansı (Cooper 1952: 127) ile başlamıştır, 2. Dönem dünya savaşlarıyla birlikte uçakların silahlanıp (Réseau canopé 2020) birer tehdit unsuruna dönüştüğü dönemdir. 3. Dönem ise 11 Eylül 2001 yılında Amerika'da gerçekleşen terör saldırılarıyla sivil uçakların silaha dönüşebilmesinin anlaşılıp (Price, Forrest 2016) günümüze kadar devam eden süreçtir. Son dönem, havacılık 4.0 döneminin de kapsamında yer aldığı ve özellikle sivil havacılıkta güvenlik anlayışını kökten değiştirdiği için kritik bir dönemdir.

11 Eylül sonrasında tüm ülkelerde sivil havacılık güvenlik önlemlerini en üst düzeye çıkılmıştır. Yolcu ve bagaj taraması, tüm sivil havalimanlarında güvenlik personel sayılarının ve güvenlik teknolojilerinin artmasıyla yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Blalock, Kadiyali, Simon 2007: 734). Alınmaya başlanan önlemlerin ne kadar hayati ve geç kalınmış olduğu aynı yılın aralık ayında ayakkabı içinde

saklanan bir bomba eylemi denemesiyle (Josephs 2021) tekrar ortaya çıkmış ve sonraki yıllarda da iç çamaşırına ve meşrubat şişesine bomba gizlemek (Pekoske 2021) gibi benzersiz terör yöntemleriyle karşı karşıya kalınmıştır.

Modern emniyet yönetimi ilkeleri, emniyet risklerinin düzenleyiciler ve havacılık hizmet sağlayıcıları tarafından daha stratejik olarak ele alınmasına sebep olmuştur. Hava trafiğinin önümüzdeki 15 yıl içinde önemli ölçüde artması beklendiğinden, bu önemli kapasite genişlemesinin dikkatli bir şekilde yönetilmesini ve stratejik düzenleyici ve altyapı geliştirmeleriyle etkinleştirilmesini sağlamak için emniyet risklerinin proaktif olarak ele alınması gerekmiştir (ICAO 2016). Bu sebeple ICAO, 2013 yılında Güvenlik Yönetimi - Ek 19 adlı yeni bir ek kabul ederek, gelişmiş standardizasyon, havacılık paydaşları arasında artan iş birliği, yeni bilgi paylaşımı girişimleri ve güvenli operasyonları sağlamak için gereken teknik ve insan kaynaklarına yapılan yatırımlara öncelik verilmesi çağrısında bulunan küresel güvenlik stratejisini desteklerken, ayrıca mevcut ve gelecekteki havacılık emniyet riskinin azaltılmasına yardımcı olmak için emniyet kazaları ve olayları hakkında daha sık ve doğru raporlamayı teşvik eden yeni ve daha az cezalandırıcı bir emniyet yönetimi kültürüne doğru sektör çapında bir evrimi desteklemektedir (ICAO 2022).

Terör olayları dışında, uçuş güvenliğinde teknoloji, eğitim ve risk yönetimi ile birlikte büyük gelişmeler yaşanmıştır. Jet motorları, cam kokpit uygulamaları, fly-by-wire sistemleri, gibi teknolojik gelişmeler, havacılık endüstrisinin güvenlik sicilinde iyileştirmelere yardımcı olurken, güvenlik yönetim sistemlerindeki büyük ilerlemeler ve insan faktörlerine ilişkin iç görüler de önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Simülasyon ve acil durum eğitimleri mürettebatın yetkinliklerini artırırken, insan hatası riskini azaltmayı amaçlayan CRM uygulamaları, kokpit verilerinin izlenmesi ve geçmiş kaza nedenlerinin araştırılması diğer güvenlik alanlarında pozitif katkılar sağlamıştır (Allianz 2014: 5). Bu gelişmelerin etkisi havayolu kazalarındaki ölüm oranlarındaki düşüş ile onanmış ve 2017 yılı 59 ölümle 1942 - 2021 yılları arasında en güvenli yıl olarak kayıtlara geçmiştir (AviationSafetyNetwork 2022). Yıllar içerisinde azalan hava kazası ölümlerine ait trend Grafik 2.8'de yer almaktadır.



Grafik 2.8. Yıllara Göre Hava Kazası Ölümleri

Kaynak: AviationSafetyNetwork (2022, 3 Mart), “Statistics by Period”. <https://aviation-safety.net/statistics/period/stats.php> adresinden alındı.

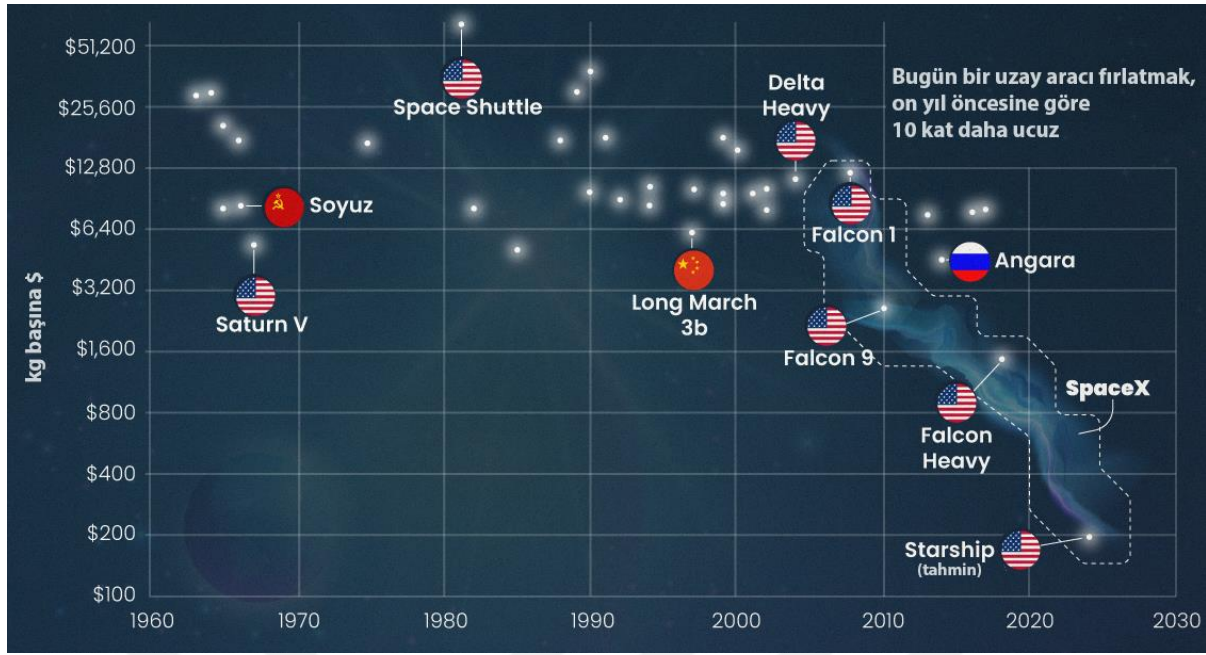
Yapılan regülatif düzenlemeler sadece konvansiyonel ticari havacılık üzerine olmayıp, insansız hava aracı gibi son dönemlerde hem kargo hem de yolcu taşıma gibi alternatif seçenekler sunan teknolojileri de kapsamaktadır. Bu sebeple 2018 yılında NASA tarafından ortaya koyulan Kentsel Hava Hareketliliği vizyonu, insanlı ve insansız hava araçları için metropol alanda güvenli ve verimli hava trafik operasyonları yürütmeyi amaçlamaktadır (NASA 2021). Benzer bir çalışma 2018 yılında Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA, European Union Aviation Safety Agency) tarafından U-space adı altında başlamış, çok sayıda insansız hava aracı için hava sahasına güvenli, verimli ve güvenli erişimi desteklemek üzere tasarlanmış bir dizi yeni hizmet ve özel prosedürün devreye alınması planlanmıştır (EASA 2017).

2.1.4.1.7. Ticari Uzay Taşımacılığı

1926 yılında Goddard’ın sıvı yakıtlı roketle ilk uçuşu ile başlayan uzay uçuş denemeleri (Clary 2003), 1962’de Başkan Kennedy’nin Haberleşme Uydusu Yasasını imzalamasıyla özel şirketlerin Dünya yörüngesindeki uydulara sahip olmalarını ve işletmelerini sağlayarak (Parsons 2020: 76) ticari uzay taşımacılığı hedefine bir adım daha yaklaşmış, Space Services firmasına ait Conestoga I uzay aracının 1982 yılında fırlatılıp uzaya ulaşmasıyla ilk özel sektöre ait roket (Space Services 2017) olarak gerçeğe dönüştürmüştür. 1963 ve 1982 yılları arasında, ABD harcanabilir fırlatma aracı (ELV, Expendable Launch Vehicle) üreticileri, yalnızca NASA veya Amerika Savunma Bakanlığı ile sözleşme kapsamında

araçlar üretmiştir. NASA'nın kaldırabileceğinden daha fazla fırlatma ihtiyacı oluşunca, bazı fırlatma aracı üreticileri ticari fırlatma hizmetleri sunmaya ilgi duyduklarını belirtmişlerdir. 1982 yılında Space Services'in yaşadığı prosedürel problemler şirketlerin ticari faaliyetlerini sürdürmesini kolaylaştıracak mevzuatın getirilmesine sebep olmuştur. 4 Temmuz 1982'de Başkan Ronald Reagan, ABD özel sektörünün sivil uzay faaliyetlerine katılımının genişletilmesinin ulusal bir hedef olduğunu belirten ulusal güvenlik karar yönergesi NSDD-42 (National Security Decision Directive) adlı Ulusal Uzay Politikası yayınlamıştır (FAA 2022). Uzay yolculuğunun ticarileştirilmesi Amerika dışında da sürmüştür. 1980'de Avrupa Uzay Ajansı, uzay endüstrisine fırlatma hizmetleri sunan bir şirket olan Ariespace'i kurmuştur. 1990'larda Rusya'nın uzay uçuşu altyapısı hazırlanmasıyla, Soyuz ve Proton roketleriyle uçuşlar yapılmaya başlanmıştır (Parsons 2020: 77).

Ticari uzay taşımacılığına artan bu ilginin en büyük itici gücü küresel uzay ekonomisinin büyüklüğü olarak öne çıkarken, 2020 yılında uzay ekonomisinin 447 milyar \$'lık bir hacme ulaştığı tahmin edilmektedir (The Space Report 2021: 9). Bir diğer önemli husus ise uzay uçuş maliyetlerinin yıllar içinde gelişen teknolojilerle düşmesi ve özellikle yeniden kullanılabilir fırlatma araçlarının geliştirilmesi ile uzaya erişimi günümüzün havayolu endüstrisi kadar rutin ve güvenilir hale getirerek, maliyetleri düşürürken ve emniyet ve güvenilirliği artırarak, uzayın ticarileştirilmesini hızlandırmayı hedeflemektir (NASA 1998). Düşen maliyetler ve uzay uçuşunun maliyetleri ve bu uçuşları sağlayan ülkelere ait uzay araçlarının detaylarına Grafik 2.9'da yer verilmiştir.



Grafik 2.9. Yıllara Göre Uzay Uçuşunun Maliyeti

Kaynak: Venditti, B. (2022, 27 Ocak), “The Cost of Space Flight Before and After SpaceX”.
<https://www.visualcapitalist.com/the-cost-of-space-flight/> adresinden alındı.

Yeniden kullanılabilir fırlatma araçlarının geliştirilmesinde özel sektörün özellikle Elon Musk’ın SpaceX firmasının katkısı yadsınamaz. 2008 yılında, yörüngeye ulaşan ilk sivil olarak geliştirilmiş sıvı yakıtlı roket olan Falcon 1 roketinin ilk başarılı fırlatmasından sadece 2 sene sonra SpaceX, Dragon kapsülünü başarıyla fırlatıp kurtararak, sivil olarak geliştirilen ve işletilen bir uzay aracının yörüngeden kurtarılmasıyla yeniden kullanılabilir fırlatma araçlarının gerçeğe dönüşmesini sağlamıştır (Cobb 2019). SpaceX dışında, Blue Origin, Virgin Galactic ve Boeing gibi firmalar da ticari uzay taşımacılığı alanında çalışmalar yapmaya devam ederken, bu rekabet kargo uçuşları için fiyatları düşürse de insan uzay taşımacılığı halen yüksek maliyetlidir. Son 60 yılda, yaklaşık 600 kişi uzaya uçarken bunların büyük çoğunluğu devlet astronotları olarak öne çıkmıştır. Virgin Galactic'in SpaceShipTwo ve Blue Origin'in New Shepard'ında yörünge altı bir yolculuk için koltuklar tipik olarak 250.000 ila 500.000 \$ arasındadır. Bunun ötesindeki gerçek yörüngeye yani çok daha yüksek bir irtifaya uçuşlar çok daha pahalıdır ve koltuk başına 50 milyon \$’dan fazla tutmaktadır (Venditti 2022). Kg başına 50 \$’dan daha az bir fiyata uzaya erişimin ve bununla birlikte kitlesel uzay turizmi olasılığının, dördüncü nesil yeniden kullanılabilir fırlatıcılarla gelmesi ile gerçeğe dönüşeceği ve 2040 yılında gerçekleşeceği öngörülmektedir. Dördüncü nesil araçların uçak gibi olacağı ve yeni süper hafif malzemelere dayalı bu araçların, verimli roket motorlarına sahip olacağı ve modern bir uçaktan daha fazla bakım gerektirmeyeceği tahmin edilmektedir (Pelt 2005: 36).

2.1.4.2.Havacılık 4.0'ın Zorlukları

Havacılık, on yıllık muazzam bir büyümeyle tanınmış, ticari havacılıktaki yolcuların sayısı 2005 ve 2019 yılları arasında iki katına çıkmıştır. Ancak pandemi havacılığın ne kadar kırılgan olabileceğini hatırlatmıştır (Sun, Wandelt, Zhang 2021: 104). Yüksek maliyetler, düşük kar marjı, sıkı regülasyonlar, terör, yüksek rekabet gibi sektörün varoluşundan günümüze devam eden problemler bir yana, bir kısmı havacılık 4.0 ile birlikte gelen yeni tür problemler önümüzdeki yıllarda havacılıkta daha fazla ağırlığını hissettirecektir.

2.1.4.2.1. Siber Güvenlik

Siber güvenlik, tüm endüstriler arasında büyüyen bir tehdittir. Siber suçlardan kaynaklanan küresel kayıplar 2019'da 1 trilyon \$'ı aşmış durumdadır (McAfee 2020). Siber teknolojilerin kullanımı havacılık ekosisteminin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş ve bu da tüm avyonik, hava trafik kontrolleri, havayolları ve havaalanlarına kadar uzanmıştır. Bu teknolojilerin havacılık kontrol sistemleri üzerinde büyük olumlu etkileri olduğu, daha iyi havacılık operasyonları, güvenliği ve performansı sağladığı da şüphesizdir. Havacılık endüstrisindeki siber güvenlik problemlerindeki artış, küresel seyahatlerdeki artış nedeniyle şu anda sektörde yaşanan dijital dönüşüm, bağlanabilirlik, segmentasyon ve karmaşıklığın birleşiminin bir sonucudur (Ukwandu vd. 2021: 3).

Havacılıkta bir siber saldırı, yolcu verilerini ifşa etmekten daha fazlasını yapabilmektedir. Siber saldırıların verdiği hasar ölümcül olabilir. Bir bilgisayar korsanı teknik olarak pist aydınlatmasını, bagaj kontrol sistemlerini ve hava trafik kontrolü ile pilotlar arasındaki iletişimi kapatabilir. Neredeyse tüm ağ sistemleri, rezervasyon sistemleri, uçuş yönetim sistemleri ve uçuş trafik yönetimi dahil olmak üzere risk altındadır (Florida Tech 2018). Ancak her şeye rağmen uçmak son derece güvenli bir ulaşım aracıdır. Havayolu rezervasyon sistemlerinin saldırıya uğradığı birkaç vaka olmasına rağmen, şimdiye kadar bir uçak sistemine sızarak güvenliği etkileyen herhangi bir korsan vakası olmamıştır (Honeywell 2021). Uçağın siber saldırılara rağmen güvenli olarak kalması için yasa koyucular güvenlik ihtiyaçları doğrultusunda yeni yönergeler çıkarmaya devam edilmektedir. EASA, Kasım 2015'te bir Siber Güvenlik Yol Haritası geliştirmiş ve o zamandan bu yana bunun uygulanması üzerinde çalışırken, havacılıkta siber güvenlik risklerini daha iyi ele almak için bir dizi girişim başlatmıştır (EASA 2020). 2016'da FAA'nın siber güvenliği geliştirmesi için gereksinimleri belirleyen FAA Genişletme, Emniyet ve Güvenlik Yasası'nın 2111 bölümü kabul edilmiştir (OIG 2019). ICAO'nun INNOVA projesi, Radyo Teknik Havacılık Komisyonu (RTCA, Radio Technical Commission for Aeronautics), Avrupa Sivil Havacılık Örgütü (EUROCAE, The European Organisation for Civil Aviation Equipment) ve Havayolları Elektronik Mühendisliği Komitesi (AEEC, Airlines Electronic Engineering Committee)

aracılığıyla siber güvenliği ve standartların geliştirilmesini desteklenmiştir (Grous 2018: 16).

2.1.4.2.2. Kalifiye Personel

Yeni teknolojilerin ve süreçlerin akışı ve maliyet düşürmeye amansız odaklanma nedeniyle, havacılık endüstrisindeki şirketler, gelecekte yetenekli, ilgili ve giderek uzmanlaşan bir işgücüne, belki de diğer tüm sektörlerden daha fazla ihtiyaç duyacağı düşünülmektedir. Sektörün son derece uzmanlaşmış doğası nedeniyle, şirketler kritik iş süreçlerini gerçekleştirmek için gerekli vasıflı ve kalifiye personeli işe alması ve tutması gerekmektedir. Bu kritik havacılık zorluklarının yanı sıra, iş gücü sıkıntısı da ortaya çıkmakta ve sektör, yeni inovasyonları ileriye taşımaya yardımcı olabilecek veri bilim insanları gibi yeni yetenek türlerini cezbetmeye çalışmaktadır (Satair 2020).

Yeni yetenek türlerinin yanı sıra geleneksel havacılıkta yer alan meslek gruplarında da ihtiyaçların pandemiye rağmen henüz karşılanmaktan uzak olduğu görülmektedir. 2021-2040 yılları arasında dünya genelinde 612.000'i pilot olmak üzere toplamda 2.1 milyonun üzerinde yeni ticari havacılık personel ihtiyacı olacağı öngörülmektedir (Boeing 2021: 6). Pandeminin bu ihtiyacı azalttığı düşünülse de özellikle pilotlar için ihtiyacın sadece birkaç yıllığına ötelenmesine hatta pandemi süresince yaşanan lisans kayıpları, medikal problemler ve kariyer değişiklikleri ile derinleşmesine neden olmuştur. Sektördeki personel ihtiyacının bu kadar fazla olmasının birçok nedeni olsa da en önemlileri şu şekilde sıralanabilir; 1990'ların sonundaki işe alım patlaması ile binlerce pilotun zorunlu emeklilik yaşına günümüzde yaklaşması (Troyer vd. 2021: 1), zorunlu pilot emeklilik yaşının 65 olması (Klapper, Ruff-Stahl 2019: 1), vasıflı çalışanlar için diğer sektörlerle rekabetin yüksekliği (ICAO 2013), yüksek eğitim maliyetleri, düşük başlangıç ücretleri (Klapper, Ruff-Stahl 2019: 3), 11 Eylül saldırısı, 2008 krizi ve pandemi gibi majör olaylarda havayolu firmalarının pilot alımlarını durdurup mevcut pilotlarını çıkarmaya yönelmesiyle sektörde keskin, kısa vadeli ve toplu personel kayıplarının oluşması sonucunda yaşanan güven kaybı.

2.1.4.2.3. İklim Değişikliği

Havacılık endüstrisi, küresel ekonomide önemli bir yer teşkil etmektedir. Pandemi öncesi havayolu şirketleri, çözümleri sektör uzmanları tarafından periyodik olarak düşünülen ve değerlendirilen önemli zorluklarla halihazırda mücadele etmekteydi. Ancak pandeminin ortaya çıkışı, havayolu endüstrisi için 11 Eylül saldırısı veya 2008'deki ekonomik durgunluk gibi önceki küresel felaketlerin hiçbirinde karşılaşmadığı bir dizi zorluğu da beraberinde getirmiştir. Pandemi, önceki zorlukların algılanma biçiminde 180 derecelik bir bakış açısı değişikliği getirmesi dışında, endüstrinin önümüzdeki on yıllarda nasıl işleyeceğinin temelini oluşturacak yeni bir dizi riski de gündeme getirmiştir. İklim değişikliği ve

evre sorunları, çok uzun zamandan beri havayolu pazarının karşı karşıya olduğu temel zorluklar arasında yer almaya devam etmiştir. Ticari havacılık, karbon emisyonlarının önemli bir yüzdesinden sorumlu olduğundan, havayolu endüstrisi, hava yolculuğunun çevresel etkisini azaltacak önlemler almak için uzun zamandır bir baskı altındadır (Iyer 2021).

Uçak motoru, gövde teknolojisi ve uçakların verimliliğindeki gelişmelerden bu yana operasyonel önlemler ve hava trafik kontrolü, havacılık emisyonlarının güçlü büyümesini tam olarak dengeleyememiştir (Lee 2000: 129). Havacılık emisyonlarını azaltmaya yönelik en etkin kalemlerden biri olacağı düşünölen elektrik ve biyoyakıt gibi geleneksel fosil yakıt alternatiflerinin de maliyet, teknoloji, regölasyon ve menzil gibi problemlerden dolayı henüz yaygın kullanılamadığı bir gerçektir. Çünkü havacılık yakıtının, zamanla gelişen, özenle geliştirilmiş standartlara uygun olması ve en zorlu koşullarda bile etkin bir şekilde çalışması gerekmektedir (Nelson, Reddy 2017: 186).

Havacılıkta karbon emisyonu ve yeşil enerji konuları uzun zamandır gündemde olsa da son 10 yıldır gündemimizde olan aşırı hava olayları son dönem yaygın küresel yangın ve kuraklıkla daha önemli bir madde haline gelmiştir. Aşırı hava olaylarının (orman yangınları, kuraklıklar, aşırı sıcaklıklar, kasırgalar) iklim değışikliği nedeniyle hem sıklığının hem de şiddetinin artması beklenmektedir (IATA 2018: 8). Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezinin Acil Durum Veri Tabanına (CRED EM-DAT, Centre for Research on The Epidemiology of Disasters The Emergency Events Database) göre, 1970'den 2019'a kadar 22.326 afet kaydedilirken, bu afetler 4,6 milyon kişinin hayatını kaybetmesine ve 4,2 trilyon \$ ekonomik kayba neden olmuştur. Kaydedilen tüm olayların %62'sinin, tüm can kayıplarının %80'inin ve ekonomik kayıpların neredeyse tamamının (%99) doğal afetlerle ilişkili olduğunu göstermektedir (WMO 2021: 8).

İklim değışikliğinin havacılık üzerindeki potansiyel etkileri çok geniş kapsamlıdır. Kısa vadede, yoğun hava koşulları uçuş sapmalarına ve iptallerine sebep olurken uzun vadede, değışen rüzgar modellerinin uçuş rotalarını ve yakıt tüketimini değıştireceğine, artan sıcaklıklar sebebiyle daha az yük taşınırken daha uzun pistlere ihtiyaç duyulmasına neden olurken (sıcak hava daha az yoğun olduğu için uçaklar yüksek sıcaklıklarda kalkış yapmakta zorlanacağından), yükselen denizlere hazırlanmak için deniz seviyesi havalimanların daha yüksekte inşa edilmesine gerek duyulacağı tahmin edilmektedir (Bushey, Georgiadis 2021). Bu etkilerin ekonomik sonuçlarını tahmin etmek güç olsa da pandeminin sadece 2020 yılı ve havayolu firmalarına etkisinin 372 milyar \$ (ICAO 2022: 5) olduğu düşünöldüğünde, tüm bağılı sektörleri ve yıllara yayılmasının da göz önünde bulundurulması durumunda etkinin ne denli büyük olduğu aşıkardır.

Possible adlı iklim yardım kurulunun Green Gumption ile birlikte Mayıs 2022’de yayınladığı rapora göre, havacılık endüstrisinin kendisine koyduğu iklim hedeflerinden biri dışında hepsini ya kaçırdığını, terk ettiğini ya da unuttuğunu göstermiştir. Bu sebeple öneri olarak, yolcu sayısındaki sürekli büyüme nedenli emisyonlarını azaltmak için endüstriye güvenmek yerine, uçuş talebini adil bir şekilde azaltmak için uçuşta artan oranlı bir vergiye ihtiyaç olduğu düşünülmektedir (Possible 2022). Bir başka yöntem ise kısa mesafeli uçuşlar için tren gibi alternatif yolların desteklenmesidir. Bunun bir örneği İtalya’da tren işletmecisi FS Italiane Group ile havalimanı işletmecisi Aeroporti di Roma arasında imzalanan anlaşmadır. İlk aşamada, tren istasyonlarıyla Roma Fiumicino Havalimanı uyumlu hale getirilerken, uygulamanın bulunacağı tren istasyonlarının, havalimanının uzantısı haline dönüştürülmesi planlanmaktadır. Bu sayede özellikle kısa mesafeli uçuşlarda birim mesafe açısından bir hayli yüksek olan karbon emisyonu sorunu bir nebze de olsa önlenebileceği düşünülmektedir (Nergiz 2022).

2.1.4.2.4. Jeopolitik ve Ekonomik Belirsizlikler

Çoğu havacılık şirketinin küresel bir ayak izi vardır, bu nedenle operasyonel ve finansal performansları önemli pazarlarındaki jeopolitik ve ekonomik koşullara önemli ölçüde bağlıdır. Ticari havacılık tarafında, sürdürülebilir ekonomik büyüme ve siyasi istikrar, hava trafiğinde uzun vadeli büyümeyi sağlayan temel faktörlerdir (EY 2017: 8). 11 Eylül olayları, 2008 ekonomik krizi, 2019 pandemisi ve artan yakıt fiyatları gibi küresel etkiler bu istikrarı bozabileceği gibi terör ve sınır problemleri gibi bölgesel problemler de bunu etkileyebilmektedir. Ayrıca bölgesel olarak nitelendirilebilecek birçok problem hem havacılığın yapısı gereği hem de global dünya düzeni nedeniyle çoğu zaman küresele evrilebilmektedir. 2022 yılındaki Rusya-Ukrayna savaşı hem Doğu Avrupa’daki siyasi durumu istikrarsızlaştırırken, enerji fiyatlarında artışla birlikte, tedarik zincirlerinde problemleri de beraberinde getirmiştir. ABD-Çin ticaret anlaşmazlığı, dünya genelindeki piyasalarda istikrarsızlığa neden olurken ekonomiler, yakın zamanda GSYİH büyüme hedefini azaltan dünyanın en büyük ekonomisi olan Çin de dahil olmak üzere potansiyel bir yavaşlama belirtileri göstermeye başlamıştır (Satair 2020). Orta Doğu ve Kuzey Afrika’daki istikrarsız jeopolitik durumlar, artan göç, insanlara yönelik tehditlerle birlikte artan tehdit seviyelerine, güvensizliğe ve sınır belirsizliğine yol açmaktadır. Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya’da sınırların izlenmesi ve korunmasına yönelik süregelen ihtiyaç, istihbarat, tespit ve izlemeye odaklanan ulusların savunma ve iç güvenlik harcamalarının artmasına neden olmaktadır. Havayolu firmaları için kilit pazarlardan herhangi birinde ekonomik bir yavaşlama, potansiyel olarak kredi piyasalarında sıkışmaya neden olabilmektedir (EY 2017: 9).

2.1.4.3.Havacılık 4.0'ın Uygulanabilirliği

Paradoksal olarak, havacılık sektörünün büyük bir yüzdesi endüstri 4.0'ın farkında olsa da uygulanmasına evrensel bir yaklaşım getirmemiştir. Bunun yerine, her şirket elde edebileceği belirli faydaları belirlerken bu yeterli olmamaktadır (Camillo 2021). Endüstri yöneticileri, havacılık 4.0'ı uzun vadeli büyüme, yenilikçilik, üretkenlik ve verimlilik sağlamaya yönelik kurumsal çapta bir yatırım olarak düşünmelidir. Yaklaşımlar, küçük rastgele dijital eylemlere odaklı olması yerine bütünsel olması gerekmektedir. Bütünsel yaklaşımın önündeki engellerden biri, havacılığın çok partili ve kompleks bir yapısının bulunmasının yanı sıra, oluşabilecek herhangi bir olumsuz durumun etkisinin hem çok büyük hem de zincirleme bir felakete yol açma ihtimali bulunması nedeniyle yavaş ilerleyen karar ve uygulama süreçleridir. Ayrıca, bu teknolojiler iş döngüleri boyunca çok daha sürdürülebilir ve sağlam olabileceğinden, havacılık yöneticileri üst düzey liderliği, yetenekleri ve yatırımları dijital dönüşüm etrafında uyumlu hale getirmelidir (Hussain vd. 2019). Bunun için ise insan kaynağının havacılık 4.0'a uygun şekilde evrilmesi gerekmektedir. Çünkü havacılık şirketlerinin karşılaştığı temel engellerden birinin, işgücünde dijital okuryazarlık eksikliği olduğunu düşünülmektedir. Boeing şirketi 61 yaş üstü 14 000 işçi çalıştırırken, şirketin mühendislerinin %56'sı 50 yaş ve üzerindedir. Baby boomer kuşağının dijital bir DNA'sı olmadığı için günümüzün üretim sektörü dijital bilgi standartlarından çok uzakta durmaktadır (Barbier 2020: 47). Bu problemin giderilmesi adına personel alım ve eğitim programlarının geliştirmesine odaklanırken, AB destekli Sky4.0 Project gibi projeler bu gelişmeye katkı sağlamayı hedeflenmiştir. Sky4.0, farklı Avrupa ülkelerinden havacılık şirketlerinin insan kaynaklarının sosyal becerilerini geliştirerek endüstri 4.0'ın zorluklarını karşılamalarına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Bu amaca, havacılık çalışanlarını endüstri 4.0 devriminde gelişmeye teşvik edecek, karakter geliştirme becerileri, sosyal yetkinlikler ve kişisel gelişim becerileri gibi beceri geliştirme setleri etrafında müfredat ve eğitim modülleri oluşturarak başarılması planlanmıştır. (Sky4.0 2018).

Bir diğer uygulanabilirlik handikabı ise yine sektörün teknik olarak en gelişmiş endüstrilerden biri olmasına rağmen, onlarca yıllık yazılım ve operasyonel aksaklıkların hala devam etmesidir. Havayolu endüstrisi, teknoloji söz konusu olduğunda diğer endüstrilerin gerisinde kalmasıyla oldukça ünlüdür (Simkeviciute 2018). Havayolları, yalnızca daha esnek operasyonlara olan ihtiyaçlarını artıran olağanüstü karmaşık operasyonlar yürütmektedir. Bir havayolu işletmek, küçük yanlış adımların bile kademeli bir reaksiyon zincirini tetikleyebileceği çok boyutlu bir satranç oyununa benzemektedir. Özetle, sektörde belirli bir teknik platform çalışıyorsa, düzeltmeye ihtiyacı olmadığı düşünülmektedir (O'Connor 2017). Bu geri kalmışlığın bir diğer sebebi ise yeni teknolojilerin ilgili otoritelerce onaylanma ve sertifikalandırma ihtiyacının olmasıdır. Hava taşıtlarının ve diğer sivil havacılık

sistemlerinin sertifikalandırılması, özellikle büyüme ve/veya çalışma ortamındaki değişikliklerin ortasında güvenliğin sağlanması için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, yeni yöntemler, teknikler ve uygulamalar geliştirildikten sonra, otoritelerin düzenlemelerinde yapılan değişikliklerle bunlara izin verilmesi gerekir ve kurumların yeni düzenlemeleri nasıl yorumladığı ve uygulayacağı konusunda rehberlik edilmesi gerekmektedir. Özellikle yeni teknolojilerde hazırlanması gereken yeni düzenlemeler, politikalar, prosedürler, eğitim gereksinimleri ile materyallerinin geliştirilmesi zaman alan kaynak yoğun çalışmalardır (National Research Council 2014: 39). Teknolojinin hızı, havacılık regülasyonlarının katılığı ve herhangi bir güvenlik sorunu olduğunda sonucunun felaket olması düşünüldüğünde yavaşlık daha rahat anlaşılabilir.

2.2. Havayolu Taşımacılığı Yapan Firmalarda Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Olası Faydaları

Havacılık doğası gereği çok çeşitli paydaşları içeren karmaşık operasyonlar bütününden oluşmaktadır. Her bir paydaş yegane sonuç olan yolcuğu bir noktadan diğer bir noktaya taşıma hedefi doğrultusunda hizmet etse de her biri farklı ihtiyaçlara ve çalışma düzenlerine sahiptir. Bu sebeple endüstri 4.0 kapsamında sağlanacak olan gelişim, teknoloji en nihayetinde aynı olsa bile farklı kurgu ve amaçlarla sağlanabilmektedir. Bu kadar farklı ve kompleks yapılanmaların tamamı özelinde kullanılan uygulamalardan ve faydalarından bahsetmek güç olacağından, bu paydaşlardan en kritik olan ve üretici noktada olmadığı için teknolojik gelişmelerdeki kısıt ve dış bağımlılığın getirdiği zorluk nedeniyle en az faydalanan havayolu taşımacılığı özelinde bahsetmek daha uygun olmaktadır.

Havacılık

Uçak Üreticileri
Havayolu Firmaları
Havalimanı Operasyonları
Bakım Firmaları
Catering Firmaları
Turizm Acenteleri
Online Rezervasyon Sistemleri
Petrokimya Sanayi



Yan Sektörler

Turizm Sektörü
Eğlence Sektörü
İnşaat Sektörü
Karayolu / Deniz Ulaşımı
Finans Sektörü
Sigorta Sektörü
Tedarikçiler

Regülasyon

Hükümetler
Lobiler
Regülatörler
Sendikalar
Askeriye / Polis / Güvenlik

Kişiler

Vatandaşlar
Çalışanlar
Müşteriler
Politikacılar
Teröristler

Şekil 2.1. Havacılık Paydaşları

Kaynak: Yazar, Seabridge, A., Moir, I. (2020), *Design and Development of Aircraft Systems* (3. Baskı), Hoboken, N.J. USA: Wiley.

2.2.1. İnsansız Hava Araçları – Otonom Görsel Kontrol

Uçak görsel kontrolü, uçağın uçuşa elverişliliğini sağlamak için havacılık bakım, onarım ve revizyonunda (MRO, Maintenance, Repair & Overhaul) tekrarlanan bir prosedür olup, uçağın sürekli güvenli çalışması konusunda risk oluşturabilecek hasarları veya anormallikleri incelemek ve tespit etmek için çıplak gözle yapılan işlemdir (Sprehe 2020). Bir ticari uçağı görsel olarak incelemek için geçen ortalama süre 6 saattir (Martin 2018). Büyük nakliye uçaklarındaki denetimlerin yüzde 75'inden fazlası görseldir. Bu nedenle, bir hava aracının ve parçalarının genel durumunu değerlendirmenin en temel yöntemi olarak, kusurları, üretim hatalarını veya bileşen yorgunluğunu bildirmek için hava aracı görsel incelemeleri doğru ve yeterli olmalıdır. Gözle muayeneyi uygun şekilde yapmak, denetçinin kusurları tespit etmek için görme keskinliği ve hava aracı ve parçaları hakkında derin bilgiye sahip olmasını gerektirmektedir. Çoğunlukla insan duyularının kullanımına dayandığından, uçağı görsel olarak inceleme sürecinin tamamı, tekrarlandığında farklı denetçilerden aynı sonuçları sağlayan tek tip prosedürler ve tekniklere sahip olmalıdır (Sprehe 2020).

İnsansız hava araçları, hızlı, güvenli, standardize ve hata payı çok düşük şekilde uçakların dış görsel

kontrollerini yapabilmektedirler. Önceden tanımlanmış bir inceleme rotasının ardından, otonom insansız hava araçları, yerleşik kamerası ile gerekli tüm görüntüleri yakalamaktadırlar. Yüksek kaliteli görüntüler gerçek zamanlı olarak incelenmesi için teknik personele gönderilir. Ayrıca bir yazılım sistemi kullanılarak detaylı analiz için bir veri tabanına aktarılırlar. Bu, teknik personelin, uçağın dijital maketi ile karşılaştırarak uçağın yüzeyindeki görsel hasarı tespit etmesine ve ölçmesine olanak tanımaktadır. En sonunda yazılım otomatik olarak bir denetim raporu oluşturmaktadır (Airbus 2018). Bu sayede otomatize resim ve hata eşleme opsiyonları ile bir dış denetim bir saatten aza indirilebilmektedir (Donacle 2017).

KLM, Lufthansa, Korean Air ve Corendon gibi havayolu firmaları filolarındaki uçaklarının görsel dış kontrollerini insansız hava aracı ile yapmayı tercih ederken hem zamandan hem de maliyetten tasarruf sağlamaktadırlar. Filosunda 50 uçak olan örnek bir havayolu firması, sadece yıldırım çarpma kontrollerini insansız hava aracı ile yaptığında, yılda tahminen 5.3 milyon € tasarruf yapacağı tahmin edilmektedir (Mainblades 2020).

2.2.2. Blokzinciri – Veri Yönetimi

Verileri yönetme ve paylaşma, dijital işlemleri kolaylaştırma yeteneği ile blokzinciri, endüstri oyuncularından oluşan karmaşık bir havacılık ekosisteminde, güvenlik, kontrol ve şeffaflık sorunlarını çözmeyi vaat etmektedir (Bouffault vd. 2019). Temel ve en önemli özelliği, güvenli olması ve müdahalenin neredeyse imkansız olmasıdır. Bu nedenle, veri bütünlüğüne büyük ölçüde dayanan havacılık gibi bir endüstri, blokzinciri teknolojisinden büyük ölçüde yararlanabilir (Appinventiv 2021). Çünkü günümüzde bir uçağın uçuşu için kritik öneme sahip bilgilerin çoğu, maliyetli ve zaman alıcı süreçlerle toplanmaktadır. Bir uçağın geçmişini ve durumunu gösteren veriler, veri paylaşma konusunda isteksiz muhtemel birçok rakibin sistemine yayılmaktadır (PwC 2019). Aracıları azaltmak, riskleri ve maliyetleri minimuma indirirken veri güvenliği ve müşteri deneyimini artırmak için blokzinciri iyi bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

Havayolu firmalarının pazar büyüklüğü 2019 yılında 818 milyar \$ (Salas 2012a) olurken, aynı yılda tüm havacılık sektörü tarafından blokzincirine yapılan tahmini yatırımın sadece 425 milyon \$ (Kaur 2021) olduğu düşünülmektedir. Blokzincir yatırımlarının genişletilmesi ile sektörde yılda 40 milyar \$ gelir artışı ile 3.5 milyar \$ gider azalışının (Zrix 2020) gerçekleşeceği tahmin edilmektedir.

2.2.2.1.Kimlik ve Sertifikasyon Yönetimi

Blokszincir teknolojisi, havayolları için kimlik yönetim sistemini mevcut biyometrik sisteme kıyasla çok daha basit ve sorunsuz hale getirebilir (Chatterjee 2017). Uçuşlardan önce ve sonra oluşan uzun kuyruklar ve kötü deneyim yolcuları rahatsız eden hava yolculuğunun ortak bir özelliğidir. Müşteri yolculuğunda, seyahat edenin yasal süreçlere uyması ve hizmetlere erişmek için kimliğini doğrulaması ve paylaşması gereken birden çok nokta vardır. Bu süreçte, havayolları, havaalanları, gümrük ve göçmenlik ofisleri gibi birçok aracı taraf sürece dahil olur ve müşteri kimliklerini bireysel olarak doğrular. Tipik olarak, müşteri birden fazla merkezi sistemle etkileşime girer ve bu da çok zaman alan, verimsiz ve hoş olmayan bir süreçle sonuçlanmaktadır. Blokszincir, bu sürece dahil olan çeşitli partileri birbirine bağlamak ve her temas noktasında yolcunun kimliğini tekrar tekrar doğrulamak yerine kullanılabilir. Ayrıca, vize gibi ek olarak gerekli seyahat belgeleri doğrudan yolcu kimliğine eklenebilir ve bu sayede ilgili makamlar tarafından kolayca erişilebilir. Müşteri yolculuğunun çeşitli noktalarında yolcu kimliklerini doğrulamanın büyük ölçüde manuel süreçleri göz önüne alındığında bu çözüm, yolcuların doğrulanması için gereken süreyi azaltarak verimliliği artırabilir. Genel seyahat deneyimi, müşterilere daha fazla esneklik sağlayarak ve kalkıştan varışa kadar çeşitli kontrol noktalarında sorunsuz bir şekilde hareket etmelerine olanak tanıyarak geliştirilebilir. Çeşitli kuruluşların merkezi olmayan verilere güvenilir ve güvenli bir şekilde erişmesini sağlama yeteneğinden yararlanan bir blokszinciri çözümü, tüm yolcu kimliği ekosisteminde veri aktarımını artırmaktadır (Riechmann 2020: 24-25).

Mürettebatın yetkinliği, uçakların verimli operasyonlarını ve uçaktaki yolcuların güvenliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Havacılık endüstrisinde pilotlar, belirli görevleri yerine getirmek için yetkililere çeşitli yeterlilik belgeleri sunmakla yükümlüdür. Bu belgeler, pilotun uçağın güvenliğini için uluslararası düzenlemelerde belirtildiği gibi gerekli beceri, bilgi ve deneyime sahip olduğunu doğrular. Bu nedenle, uçuş ekibi lisanslarının herhangi bir hasar, hırsızlık veya kayıptan korunması, havayollarının birinci önceliği olmaktadır. Havacılık endüstrisinde, ekiplerin lisanslarını saklamak, güncellemek, doğrulamak ve yönetmek için manuel veya merkezi veri yönetim sistemleri kullanılmaktadır. Ayrıca, havacılık sektöründe kaydedilen önemli endüstriyel ilerlemeye rağmen, endüstri, pilotların yetkinliklerini doğrulamak için izlenebilirlik ve değişmezlik özelliklerine sahip otomatik mekanizmadan hala yoksundur. Benzer şekilde, güvenilmeyen okullar pilotlar tarafından sahte lisanslar almak için kullanılabilir. Blokszincir teknolojisi, yukarıda belirtilen sorunları ele almak için uçak mürettebatının lisanslarını dijitalleştirilmesi için bir fırsat yaratabilirken, mürettebatın lisanslarına, deneyimine ve becerilerine daha az çabayla gerçek zamanlı olarak erişilebilmesine ve doğrulanabilmesine yardımcı olabilmektedir (Salah, Jayaraman, Hasan 2020: 2).

Yolcu ve mürettebatın kimlik ve lisansları dışında, daha geniş çerçevede regülatörlerin de havayolu firmalarından ve sektördeki diğer partilerden beklediği birçok yetkinlik ve sertifika bulunmaktadır. Bu sertifikasyonlar IATA gibi organizasyonlar tarafından verilmekte ve takip edilmektedir. IATA, Dijital Sertifikasyon Otoritesi (DCA, Digital Certification Authority) konsepti ile blokzincir, yapay zeka ve biyometri gibi gelişen teknolojiden yararlanan ticari havacılık dağıtım dijital kimlik yönetimini kolaylaştıran bir platformu devreye almıştır. Bu sayede, verilere gerçek zamanlı ve güvenli erişim sağlayarak, üye havayollarının finansal sağlığını korumak, değer zincirindeki ortakların güvenli ve emniyetli bir şekilde iş yapmalarını sağlamak mümkündür (IATA 2018: 18).

2.2.2.2.Müşteri Sadakat Programları

Müşteri sadakat programları, müşteri ilişkileri yönetiminin çok önemli bir parçasıdır. Müşteri sadakatine yapılan yatırımın, uzun vadeli finansal performansına fayda sağladığı kanıtlanmıştır (IATA 2020). Müşteri sadakat programları, sık uçan yolculara havayolu hizmetlerini kullanmaları için avantajlar sunmaktadırlar. Müşteri sadakat programlarını yöneten mevcut sistemler, düşük mil veya avantaj kullanım oranı, yüksek bakım maliyeti ve veri kaybına yönelik tehditler gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıyadırlar. Ayrıca, mevcut sistemler karmaşıktır ve müşterilerden ziyade ticari kuruluşlara fayda sağlama eğilimindedir. (Salah, Jayaraman, Hasan 2020: 2). Uçulan mil veya puanları uzlaştırmak ve bu kredilerin müşterinin hesabına doğru bir şekilde uygulanmasını sağlamak zor, hataya açık ve zaman alıcı olabilmektedir. Akıllı sözleşmeler, havayolları arasındaki süreci basitleştirip otomatikleştirebilir, hata riskini en aza indirebilir ve müşteri memnuniyetini artırabilmektedir (Bouffault vd. 2019). Ayrıca, havacılık endüstrisindeki blokzinciri teknolojisi, havayolları ve biletleme, sadakat programları gibi diğer seyahat endüstrileri ve ulaşım ve otel gibi havayolu dışı lojistik endüstriler gibi çeşitli endüstriler için sistemleri birleştirme yeteneğine sahiptir (Appinventiv 2021).

2018 yılında Singapur Havayolları, sık uçan yolcularına birikmiş millerini harcamak için yeni bir yol sağlamak adına blokzincir teknolojisini kullanacağını duyurmuş ve sonrasında dünyanın ilk blokzincir tabanlı havayolu sadakat dijital cüzdanını devreye almıştır (Singapore Airlines 2018).

2.2.2.3.Ödeme ve Akıllı Kontratlar

Blokzincir teknolojisi, havayolları millerini müşterilerin uçuşun ötesinde kullanabilecekleri daha değerli bir varlığa dönüştürmesine yardımcı olabilir. Miller çeşitli ortaklar arasında para birimi olarak kabul edildiğinden, havayollarının müşterileri için güçlü bir sadakat programı oluşturmaya yardımcı olabilir (Chatterjee 2017). Millerin dışında alınan biletlerin de blokzincir altyapısı üzerinden alınması tüm süreci dijitalleştirirken, yolcu doğrulama, ödeme onay, iade ve kağıt kullanım oranlarında düşüş gibi çok çeşitli

faydalar sunabilmektedir.

Blokszincir, yolcuların kripto para birimini kullanarak bilet satın almalarını kolaylaştırabilir. Akıllı sözleşmelere dayalı olarak, bir yolcu satın aldığı bileti iptal etmek isterse, kullanıcılara zamanında nakit geri ödeme konusunda yardımcı olunabilir. Blokszincir platformunda dağıtılan akıllı sözleşmeler, havayolları ittifakı için bilet transfer sürecini otomatikleştirebilir (Salah, Jayaraman, Hasan 2020: 3). Ayrıca akıllı kontratlar sayesinde havayolları, seyahat acenteleri ve diğer tüm paydaşlarla olan faturalandırma, sadakat anlaşmalarının belirlenmesi, seyahat sigortası satın alınması ve havaalanı ve yetkili makam vergileri, ücretleri ve harçlarının ödenmesi dahil olmak üzere çok çeşitli işlemler bu şekilde otomatik şekilde yapılabilir (Bouffault vd. 2019).

Kripto para ile bilet alımı, güçlü bir sadakat programı, millerin token (dijital varlık) olarak değerli bir varlığa dönüşmesi gibi blokszincirin havayolu firmalarına sağladığı finansal faydaların tümü göz önüne alındığında, özellikle bilet satış tarafında havayolu firmalarının neredeyse tamamının komisyonla çalışan GDS (Global Distribution System, Global Dağıtım Kanalları) adlı üçüncü parti firmalara bağımlı olduğu ve bu firmaların bilet satışlarının %99'unu kontrol ettiği (Bouffault vd. 2019), rezervasyon ve satış maliyetlerinin tüm maliyet içindeki payının %14 olduğu (ICAO 2017: 6) düşünüldüğünde, müşteri deneyiminin ve ödeme sistemlerinin kullanımının blokszincir altyapısı ile maksimize edilmeye çalışılmasının havayolu firmalarının direkt satışlarındaki payını da artırmaya destek olacağı açıktır.

KLM, Hahn Air, Air Canada ve Lufthansa gibi çok çeşitli havayolu firmaları, tüketicilerin doğrudan havayollarından biletlere erişmesini sağlayacak bir blokszincir uygulaması geliştirmek için açık kaynaklı bir seyahat dağıtım platformu olan Winding Tree ile ortaklık kumuşlardır. 2019 yılı Kasım ayında ise Alman Hahn Air Havayolları blokszincirindeki ilk uçak biletini basarak tarihe geçmiştir (Hahn Air 2019). Dubai merkezli havayolu şirketi Emirates ise dijital para birim olan Bitcoin ile ödeme almayı planladıklarını duyurmuştur (Peters 2022).

Blokszincir temelli ödeme altyapı inisiyatifleri üzerine ticari kuruluşlar dışında IATA gibi regülatörler de çalışmaktadırlar. Örneğin, 2014'te duyurulan IATA Coin, endüstriye ait bir uluslar üstü dijital para birimi kavramıdır. Bu proje, özellikle sektör içerisinde ödeme, mahsuplaşma ve takas işlemlerinde blokszinciri teknolojisinden yararlanmaya odaklanıyor. 2018'de pilot uygulama, daha fazla havayolu, daha fazla para birimi ve Akıllı Kontratlar kullanımıyla genişlemiştir (IATA 2018: 18).

2.2.2.4. Anlık Bagaj, Kargo ve Operasyon Takibi

Havayollarının kargo lojistiği üzerindeki kontrolleri asgari düzeydedir. İş ortaklarının çoğu, kendi manuel ve otomatik süreç karışımına sahiptir. Aracılar ve havayolları arasındaki bu standartlaştırılmamış süreçler, çalınan bagajlardan kaçak mallara kadar uzanan tedarik zincirinde zayıf halkalar oluşturur. Blokzinciri, bagaj veya kargo sürecinin çıkış noktasından alıcıya kadar havayolu tarafından gerçekleştirilen her aşaması benzersiz bir kod oluşturur. Ürünlerin ve bagajların herhangi bir değişikliği, eklenmesi ve çıkarılması daha sonra blokzincirinde kolayca tanımlanabilir ve güncellenebilir. Bu şeffaflık, yetkisiz eylemlerin önlenmesinde önemlidir ve havayollarının kaçakçılık ve hırsızlığı azaltmasına, daha hızlı işlem süresi elde etmesine ve kağıt tabanlı süreçleri azaltmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca ekipler arasında sorunsuz bir kargo aktarım sağlar ve yanlış yerleştirilmiş bagajın nerede olduğunu ve kimin sorumlu olduğunu belirlemesine yardımcı olur (Ramaswamy 2019).

Pandemi öncesi 2019 yılında sorun yaşanan bagaj oranı 1000'de 5.6 adet (SITA 2021: 3) olarak gerçekleşirken bunun havayolu firmalarına maliyeti 2.5 milyar \$ (Salas 2022b) olarak gerçekleşmiştir. Sadece birim yükleme araçlarına (ULD, Unit Load Device) blokzincir tabanlı anlık takip sistemlerinin eklenmesinin yılda 400 milyon \$ tasarruf sağlarken yasa dışı riskleri de azaltması tahmin edilmektedir (SITA 2020).

2.2.2.5. Bakım, Onarım ve Revizyon Kayıtları

Endüstrinin güvenliğe odaklandığı düşünüldüğünde, bir uçağı oluşturan tüm bileşenlerin, parçaların ve diğer malzemelerin kaynağının bilinmesi ve kalitesinin sağlanması kritik öneme sahiptir. Bakım ve onarım sürecinde, üreticileri, bayileri, havayollarını, hizmet sağlayıcıları ve düzenleyici makamları içeren karmaşık değer zinciri, ekipmanların kökeni ve yolculuğu hakkında bilgi edinmeyi zorlaştırabilir. Blokzinciri, değer zinciri boyunca tüm ekipmanların, kaynaklarının ve geçmişlerinin denetlenebilir bir kaydını sağlamaktadır (Bouffault vd. 2019). Bu, uçağı her bakım yapıldığında veya kontrol edildiğinde güncellenen, her parça için dijital bir doğum belgesine sahip olması gibidir. Bu sertifikalar, uçağın montaj hattından çıktığı andan kiraya verene iade edildiği veya filodan ayrıldığı ana kadarki durumunun gerçek zamanlı bir anlık görüntüsünü sağlayan uçağın dijital ikizi şeklinde toplanabilir (PwC 2019).

Blokzincir aynı zamanda bakım sorunları nedeniyle yaşanan gecikmeleri azaltarak maliyetleri düşürmeye yardımcı olmaktadır. Küresel bakım, onarım ve revizyon pazarının değerinin 69 milyar \$ olduğu, yılda %4,1 artışla 2028'de 103 milyar \$'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (Appinventiv 2021).

2.2.3. Üç Boyutlu Baskı – Yedek Parça

Uçak üreticileri, 1980'lerin sonlarında başladıkları kullanım ile üç boyutlu baskı teknolojisinin ilk uygulayıcılarından olmuşlardır. Günümüzde hala üç boyutlu baskı teknolojilerini benimseme oranının en yüksek olduğu sektör olarak kabul edilmektedir. Bitmiş parçaların daha hızlı teslimatı, nispeten düşük üretim miktarları, tasarım esnekliği, gücü korurken daha hafif parçalar üretilip yakıt tüketimini azaltabilme yeteneği gibi avantajlarının yanında karbondioksit emisyonlarını azaltma gibi zorlukların üstesinden gelmek için üç boyutlu baskı özellikle önemlidir (Castor 2021).

Halihazırda neredeyse tüm uçak üreticileri üç boyutlu baskıdan yararlanmaktadır. Örneğin Boeing, 777x yakıt nozülünün yanı sıra, 300'den fazla basılı parça içeren motorunu, motorun ağırlığının azaltılmasını sağlarken, yakıt tüketimini %12, işletme maliyetlerini %10 azaltarak dünyanın en verimli çift motorlu jeti haline getirmiştir. Benzer şekilde Airbus A350 XWB, 1000'den fazla üç boyutlu baskı parça içeren bir uçak olarak üretilmiştir (Castor 2021).

Havacılık ve uzay endüstrisi için üç boyutlu baskı teknolojisi pazarının 2017'de 714.5 milyon \$'dan, 2022 yılına kadar 3 milyar \$'a (Ntouanogloub, Stavropoulosa, Mourtzisa 2018: 125), 2026 yılına kadar da 6.7 milyar \$'a ulaşması beklenmektedir (Fortune Business Insight 2019). Havayolu firmalarının 2015 yılında OEM (Original Equipment Manufacturer, Orijinal Ürün Üreticisi) yedek parçalara 32 milyar \$'dan (Doll, Aggergaard 2022: 3) fazla para harcadığı düşünüldüğünde, üç boyutlu baskı pazarının havacılıkta henüz emekleme aşamasında olduğu anlaşılmaktadır.

FAA ve EASA, üç boyutlu baskıların kullanıma dair çeşitli onay süreçlerine ve sertifikasyonlara sahiptirler. Bununla birlikte uçak üreticileri ve PMA (Parts Manufacturer Approval, Parça Üreticisi Onayı) sahibi firmaların dışında, firmaların Part 21 regülasyonu altında OOPD (Owner/Operator-Produced Parts) olarak adlandırılan kendi parçalarını üretebilmeleri için ve Part 145 regülasyonu altında kendi tamirini yapabilmeleri için de onay mekanizmaları işletilmektedir. Ancak üç boyutlu baskıların yaygınlaşması ve çeşitli yasal altyapının oluşturulmasına rağmen özellikle havayolu firmaları ve onların iştirakleri için henüz belirgin bir kullanım görülmemektedir. Üç boyutlu baskı uçak üreticisi tarafında yaygınken, OOPD yöntemi ile ya amatör havacılık ya da havayolu firmaları için kategori 3 denilen kabin için ekipmanlar gibi arızası, uçağın sürekli güvenli uçuşunu ve inişini etkilemeyecek fabrikasyon parçaların (Aereos 2019) üretiminde özellikle geleneksel yöntemlerle sürdürülmektedir. Yedek parçaları, uçak ve motor üreticileri (OEM) dışında PMA sahibi üreticilerden almanın bile %25 - %45 arasında tasarruf sağladığı (Doll, Aggergaard 2022: 3) düşünülürse, vizyoner bir bakış açısıyla ticari, yasal ve süreçsel zemini tamamen netleştirildiğinde üç boyutlu baskı üretim yaklaşımı havayolu firmalarında etkili bir maliyet düşüşü sağlayabileceği tahmin edilmektedir. Ancak mevcut üç boyutlu

baskı maliyetleri göz önüne alındığında, bu teknolojiyi tüm yedek parçalar için uygulamak gerçekçi değildir. Yedek parçaların temini, kritikliği, üretim fizibilitesi, ilk ve sürekli uçuşa elverişliliği içeren düzenlemeler kritik faktörlerdir (Ceruti vd. 2019: 526).

2.2.4. Büyük Veri – Müşteri Deneyimi

Dijital olarak bağlantılı bir dünyada, kullanıcılar her temas noktasında dijital ayak izlerini bırakmaktadır. Havayolu firmaları, yolcuların müşteri deneyimini iyileştirmek için bu verileri analiz ederek çok çeşitli bilgilere erişebilmektedirler. Örneğin havayolu firmaları bu verileri, satın alma geçmişlerine, seyahat güzergahlarına vb. ilişkin verilere dayalı olarak müşteri tercihlerini gerçek zamanlı olarak anlamak ve onlara özelleştirilmiş teklifler sunmak için kullanabilir. United Airlines, müşteri profilindeki önceki satın almaları ve tercihleri gibi yaklaşık 150 değişkeni analiz edip yolculara özel teklifler sunarak yılda %15'lik bir gelir artışı elde etmişlerdir. 2019 havayolu Pazar gelirinin 828 milyar \$ (T4 2021) olduğunu düşündüğümüzde gelir artışının büyüklüğü daha rahat anlaşılabilir. Ayrıca bu veriler, tahmine dayalı analitik yoluyla operasyonel verimliliği artırmaya da yardımcı olabilir. Hava durumu tahmini nedeniyle meydana gelebilecek gecikmeleri önleyebilir, yolcularını güncel tutmak için havayolu personeli bu konuda bilgilendirebilir. Bu veriler uçuş verimliliğinin ve güvenliğinin artırılmasında kullanılabilir (Chatterjee 2017).

Günümüz veri yönetiminden bahsederken tek başına büyük veriden bahsetmek mümkün olmamaktadır. Çünkü büyük verinin oluşması ve kullanılması için endüstri 4.0 kapsamında çok çeşitli uygulamaların çoğunlukla beraber kullanılması gerekmektedir. Bunların başında, verilerin toplanmasında nesnelerin interneti, makineler arası iletişimde M2M ve 5G, depolanmasında bulut bilişim ve blokzincir, işlenmesinde yapay zeka ve makine öğrenmesi gelmektedir.

2.2.5. Makine Öğrenmesi – Kestirimci Bakım

Planlı bakım, ekipmanın bakımının geleneksel yoludur ve uçak tasarım zamanında tanımlanan ve önceden planlanması ve periyodik olarak gerçekleştirilmesi gereken bir dizi bakım prosedüründen oluşmaktadır. Ancak planlanmış iki bakım tarihi arasında beklenmeyen bir arıza meydana geldiğinde, gerekli bakım işlemleri gerçekleştirilinceye kadar uçaklar kullanılamamaktadır. Bu beklenmedik arızalar, havayolu firmaları için çok büyük gelir kayıplarına sebep olabilmektedir. Ancak, kestirimci bakımın (predictive maintenance) amacı, ekipmanların durumunu sürekli olarak gözlemleyerek ve önceden uyararak bu tür beklenmedik ekipman arızalarını önlemek veya öngörmektir (Korvesis 2017: 2). Diğer uygulamalarda da olduğu gibi, makine öğrenmesi de yapay zeka, nesnelerin interneti gibi çeşitli teknolojilerle beraber kullanılmaktadır. Virgin Airlines Boeing 787 uçaklarında, performans,

bakım gibi çok çeşitli verileri gerçek zamanlı olarak nesnelerin internetini sağlayan bir kablosuz ağına bağlı olarak toplayıp, bu verileri uçağın verimliliğini artırmak ve proaktif olmak için kullanmaktadırlar. Örneğin, uçuşta performansı kötü olan bir jet motoruna ait veriler yer personeline anlık aktarılabilirken, uçak indiğinde havaalanında mühendisler konuyu incelemeye hazır olabilmektedirler (Chatterjee 2017). 2020 yılında uçak bakımlarına 50 milyar \$ (IATA 2020: 11) harcanırken, kestirimci bakımın toplam bakım maliyetlerini %18-%25 (Bradburry vd. 2018) arasında düşürmesi beklenmektedir.

2.2.6. Artırılmış ve Sanal Gerçeklik –Pilotaj Eğitimi

Pilot eğitimi maliyetli ve zaman alıcıdır, bu nedenle artırılmış ve sanal gerçeklik pilot eksikliğini verimli ve uygun maliyetli bir çözüm olarak düşünülmektedir. Yüksek kaliteli FAA onaylı tam uçuş simülatörleri 10 milyon \$'a mal olurken, küresel uçuş simülatörü pazar gelirin 2025'te 7,7 milyar \$ olması beklenmektedir (Parsons 2019). Pilotajda artırılmış ve sanal gerçeklik teknolojisi kullanılması durumunda maliyet avantajı 1'e 300 (Losey 2018) gibi astronomik bir noktada olmasının yanında, eğitim sürelerinin de kısılması ek maliyet avantajı sağlamaktadır. Her ne kadar artırılmış ve sanal gerçeklik tabanlı eğitimler Level D simülatörleri yerine geçmekten uzak olsalar da pilot adayları için temel seviyede daha etkili olacağı düşünülmektedir. Sanal gerçeklik uçuş simülasyonları, havadaki gerçek deneyimin yerini alamayabilir, ancak pilot eğitim maliyetlerini önemli ölçüde azaltarak yeni bir nesil için havacılıkta kariyer olanaklarının önünü açabileceği düşünülmektedir (Ellis 2019). EASA 2021 yılında sanal gerçeklik tabanlı Sentetik Uçuş Eğitim Cihazı (FSTD, Flight Simulation Training Device) için ilk sertifikayı vererek regülatif olarak sektörü düzenlemeye başlamıştır (EASA 2021).

Sanal gerçekliğin maliyet düşürücü etkisi yanında, konvansiyonel simülatörlerin aksine sanal gerçeklik gözlükleri 360 derece bir görüş alanı sunarken hem simülasyon deneyimini hem de gerçekliğini artırmaktadır. Bunun dışında, diğer simülatörlerde hiç olmayan derinlik algısı, baş hareketleriyle hareket eden alan daha yoğun bir deneyim sağlamaktadır. Ayrıca, yüksek yatırım maliyetlerine sahip mevcut simülatörlerin yatırım dönüşlerini hızlı almak için 7/24 çalıştırılmaları gerektiğinden herhangi bir bakım ve boş bekleme durumunda büyük gelir kayıplarına sebep olurken, sanal gerçeklik için bu yazılım mühendisleriyle kolaylıkla çözülebilmektedir (Dingemans 2021).

Artırılmış gerçeklik sayesinde, pilotlar navigasyon sistemlerini görselleştirebilir, hava trafiği kontrolü ile çalışabilir, hava durumunu deneyimleyebilir, engebeli arazileri anlayabilir ve hava sahası bilgilerini bir üç boyut baskı kaplama yoluyla öğrenebilmektedir. Bir pilot bir uçağı indirmeyi öğrenirken, artırılmış gerçeklik teknolojisi, uygun yolu göstermek için fazladan bir koridor görüntüsü

verebilmektedir. Bir uçak yere yaklaştıkça, artırılmış gerçeklik sistemleri acil durumları ele almaya, pilotlara ne yapılması gerektiği konusunda rehberlik etmeye ve kalkış-iniş risklerini azaltmaya yardımcı olabilmektedir (Wagner 2019).

Hollandalı havayolu firması KLM 2020 yılında, Embraer 175 ve 190 uçaklarını uçuran pilotlarına sanal gerçeklik eğitimini sunmuştur. Kendi bünyesinde geliştirdikleri sanal gerçeklik eğitimleri, pilotların eğitim sürelerini daha verimli kullanmalarını sağlarken ayrıca maliyet tasarrufu sağlanması beklenmektedir (KLM 2020).



SONUÇ

Endüstri 4.0 ve uygulamaları tüm sektörlerde olduğu gibi havayolu taşımacılığında da hayati bir öneme sahiptir. Rekabetin çok yoğun olduğu, sürdürülebilirliğin kısa dönemli kazanımlardan daha önemli olduğunun anlaşıldığı son yüz yılda, havayolu taşımacılığında müşteri memnuniyetini merkeze alarak, dijital dönüşümün sadece adında dijital/akıllı geçen izole ekipler kurmak olmadığı, daha bütüncül bir bakış açısıyla uçtan uca yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Bunun bir vizyon, teknoloji, kaynak ve yetkin insan kaynağı konusu olduğunu bilerek hareket eden ve karlılığını uzun vadede korurken maliyetlerini kaliteden ve siber ve fiziksel güvenlikten ödün vermeden düşüren firmaların ayakta kalacağı öngörülmektedir. Ancak buna rağmen havayolu taşımacılığı firmalarında endüstri 4.0 uygulamalarının genel kabul görüp yaygın kullanılmadığı anlaşılmaktadır.

Çalışmanın amacı, sektör özelinde inovatif uygulamalar değerlendirilirken genel havacılık uygulamaları kapsamında özellikle de uçak üreticileri çerçevesinde değerlendirildiğinden, nispeten daha az uygulama, örnek ve yayımın bulunduğu havayolu taşımacılığı yapan firmalar özelinde endüstri 4.0 ve uygulamaları ve etkilerini incelemektir. Uçak üreticisi Airbus firması sadece A380 modelinin üretimi için 380'den fazla patent başvurusu yapmış (Patentwire 2019: 14), toplamda 37.000'den (WIPO 2020) fazla patente sahipken, dünyanın havayolu taşımacılığı yapan en büyük firmalarından Delta Airlines toplamda sadece 25 (Justia 2022) patente sahiptir. Bu kadar büyük bir asimetri havayolu taşımacılığı yapan firmalarının inovatif anlamda ne kadar kısıtlı bir alanı olduğunu göstermesi açısından önemlidir. Havayolu taşımacılığı yapan firmaların bu kısıtlı alanı kullanarak düşük karlılıklarını yükseltmeye çalışırken, ayakta kalmak için yüksek maliyetleri kontrol altına almaya çalışmaları çoğu zaman uçak üreticileri ve havalimanı operasyonu yöneten firmalar gibi üçüncü parti firmalara bağılıyken her zaman mümkün olmamaktadır. Son 100 yılda kurulan havayolu firması tahminen 5000 civarında iken, günümüzde 1000 adetten daha az aktif firma bulunmaktadır. Bu firmaların %80'inin günümüzde mevcut olmamasının nedenini pandemi ve dünya savaşları dışında açıklarken, sürdürülebilir finansallar olduğunu tahmin etmek mümkündür. Bu durum yeni firmaların kurulması aşamasında finansman temininde, devlet desteği ihtiyacının sağlanmasında problem olarak yer almaktadır.

Rekabetin sert, finansalların çoğu zaman umut verici olmadığı, kırılgan bir sektör olan havayolu taşımacılığında ayakta kalmak için endüstri 4.0 uygulamalarına yatırım yapmak kaçınılmaz görünmektedir. Ancak her yeni teknolojik ve inovatif ürünün ve bu ürünleri geliştirmenin kendi içinde çeşitli zorunluklar barındırdığı da aşikardır. En önemli engelin başında yatırım maliyetleri gelmektedir. Özellikle yüksek yatırım maliyetleri, yeni teknolojilerin yaygınlaşmadan önce temini için genel bir

problem olarak karşımıza çıkarken, yapılacak olan yatırımın geri dönüşünün garanti olmaması da firmalar ve yöneticiler açısından çekince yaratmaktadır. Bunun aşılması için kurumsal vizyonun bu yönde olması hatta muhtemel başarısızlıkların yeni yaklaşımların devamı için teşvik edilmesi, şirket içi kültürün de inovasyon bakış açısı ile dönüşmesi ve çalışanların yeni iş yapış şekillerini kabul etmesi kritiktir. Çünkü endüstri 4.0 uygulamaları gibi yıkıcı inovatif faaliyetler temelden iş yapış şekillerini değiştirdiği için şirket ekosistemleri içinde büyük rezistansla karşılaşabilmektedir. Bunun önüne geçmek için çalışanlar eğitimlerle desteklenirken, kabullenilen yeni vizyonun belirli bir alan yerine uçtan uca tüm şirket için uygulanması, alınan kararlarda şeffaflık olması ve yeni uygulamaların yaratacağı değer anlaşılmaması bu dönüşümün kabulü için önemlidir. İnovatif uygulamalara firmalar tarafından yatırım yapılmasını sağlamak için bir diğer görev sivil havacılık otoritelerine düşmektedir. Bu durumu hızlandırmak adına regülatif olarak altyapıların daha erken hazırlanması ve genele yayılması için firmaların daha çok teşvik edilmesi gerekmektedir.

Türk sivil havacılığında da durum dünyadaki trendlere paralel seyretmektedir. Türkiye'nin insansız hava araçlarındaki pozisyonunda olduğu gibi, havayolu taşımacılığında da inovatif uygulamalara yatırım önceliklendirilerek dünyada avantajlı bir noktaya gelmesi hala mümkün gözükmemektedir. Yazılım ve donanım konusunda dışa bağımlılığın yüksek olduğu sektörlerden biri olan havayolu taşımacılığında bu durum, günümüz teknolojilerinin kendine has hızıyla çok kısa sürede, sahibi olduğumuz kalifiye genç insan kaynaklarıyla çözülebilir.

Çalışmada sadece havayolu taşımacılığında uygulanmaya başlayan teknolojik gelişmelerden bahsedilmiştir. Araştırma sonucunda değerlendirilen örnek uygulamaların bahsi geçen kapsam ve kullanımlarında yıllık faydasının kabaca bir tahminle 150 milyar \$'ın üzerinde olduğu hesaplanmaktadır. Farklı örnekler ve ölçekler ile bahsedilmeyen başka uygulamalarla bu fayda çok daha büyük değerlere kolaylıkla dönebilir. Henüz kullanılmayan ancak çapraz olarak sektörel geçişle kullanılması muhtemel birçok uygulama ve bu uygulamaların kullanımları, faydaları, müşteri tepkileri, adaptasyonu ve beraberlerinde gelecek olan problemler incelenmeye değerdir.

Sonuç olarak endüstri 4.0 ile gelen yeniliklerin kullanım alanı sonsuz bir araştırma ve uygulama konusudur. Cesaret ve inovasyon üzerine kurulmuş olan bu devasa sektördeki firmalardan bu yönde cesur adım atanların diğerlerinde ayrışması ve daha uzun süre müşterilerine hizmet vermesi gelecekte muhtemeldir.

KAYNAKLAR

- Accenture, GE (2015), *Industrial Internet Insights Report For 2015*.
- Accenture (2020, 26 Mayıs), “What is artificial intelligence?”. <https://www.accenture.com/us-en/insights/artificial-intelligence-summary-index> adresinden alındı.
- Aereos (2019, 18 Haziran), “Are You Down with OOPPs?”. <https://aereos.com/are-you-down-with-oopps/> adresinden alındı.
- Aeroclass (2021, 22 Ekim), “The Future of Aviation”. <https://www.aeroclass.org/future-of-aviation/> adresinden alındı.
- Aerospace (2021, 2 Şubat), “A Brief History Of GPS”. <https://aerospace.org/article/brief-history-gps> adresinden alındı.
- Ahmad, W., S., H., M., W. (2019), "5G Technology: Towards Dynamic Spectrum Sharing Using Cognitive Radio Networks", *IEEE Access*, 8: 14460-14488. doi: 10.1109/access.2020.2966271
- Airbus (2018, 11 Nisan), “The A321LR “goes long” with record-breaking flight”. <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2018-04-the-a321lr-goes-long-with-record-breaking-flight> adresinden alındı.
- Airbus (2018, 18 Nisan), “Innovation takes aircraft visual inspections to new heights”. <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2018-04-innovation-takes-aircraft-visual-inspections-to-new-heights> adresinden alındı.
- Airbus (2020, 29 Haziran), “Airbus concludes ATTOL with fully autonomous flight tests”. <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2020-06-airbus-concludes-attol-with-fully-autonomous-flight-tests> adresinden alındı.
- Airbus (2022, 22 Şubat), “Airbus and CFM International to pioneer hydrogen combustion technology”. <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2022-02-airbus-and-cfm-international-to-pioneer-hydrogen-combustion> adresinden alındı.
- Aktan, C. C. (2018), *Yeni İktisat Okulları ve İktisadi Düşünce* (3. Baskı), Ankara: Seçkin Yayınları.
- Alkış, M., C. (2016), Havacılık Endüstrisinde Self Servis Uygulamaları, IATA “Hızlı Seyahat Programı” Kapsamında 3. Havalimanı İçin Öneriler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Allianz (2014), “Global Aviation Safety Study”. <https://www.agcs.allianz.com/content/dam/onemarketing/agcs/agcs/reports/AGCS-Global-Aviation-Safety-2014-report.pdf>
- Alpaydin, E. (2004), *Introduction to Machine Learning*, London: The MIT Press.
- Amazon (2013), *What is cloud computing?*.
- ANA (2019, 3 Temmuz), “ANA Creates New Department to Prioritize Mobility as a Service”. <https://www.anahd.co.jp/group/en/pr/201907/20190703-2.html> adresinden alındı.

- Anderson, C. (2012), *Makers: The New Industrial Revolution*, New York: Crown Business.
- Anderson, J., D. (1999), *Aircraft Performance And Design* (5. Baskı), New York: Tata McGraw-Hill.
- Appinventiv (2021, 3 Şubat), “How Airlines Can Save Millions with Blockchain”.
<https://appinventiv.com/blog/blockchain-in-aviation/> adresinden alındı.
- Ashrae, (2018), *Building Our New Energy Future*.
- Alçın, S. (2016), “A New Theme for Production: Industry 4.0”, *Journal of Life Economics*, 3/2: 19-30. doi: 10.15637/jlecon.129
- ATAG (2020), “Facts & Figures”. <https://www.atag.org/facts-figures.html> adresinden alındı.
- AviationSafetyNetwork (2022, 3 Mart), “Statistics by Period”. <https://aviation-safety.net/statistics/period/stats.php> adresinden alındı.
- Banke, J. (2019, 23 Aralık), “Research in 2019 Enables Future Aviation Advances”.
<https://www.nasa.gov/aeroresearch/research-in-2019-enables-future-aviation-advances> adresinden alındı.
- Barbier, L. (2020), *Industry 4.0 Adoption for Us Aerospace And Defense Industry*, Mikkeli, Aalto Üniversitesi İşletme Okulu.
- Bellamy, W. (2020, 30 Kasım), “How the Aerospace Industry is Finding New 3D-Printing Use Cases for Old Aircraft Parts”. <https://www.aviationtoday.com/2020/11/30/aerospace-industry-finding-new-3d-printing-use-cases-old-aircraft-parts/> adresinden alındı.
- Blalock, G., Kadiyali, V., Simon, D. H. (2007), “The Impact of Post-9/11 Airport Security Measures on the Demand for Air Travel”, *The Journal of Law & Economics*, 50/4: 731:755. doi: 10.1086/519816
- Boeing (2008), “2008 Environment Report”. https://www.boeing.com/aboutus/environment/environmental_report_08/boeing-2008-environment-report.pdf
- Boeing (2017, 12 Temmuz), “Flying Virtually Solo”. <https://www.boeing.com/features/2017/07/virtual-copilot-07-17.page> adresinden alındı.
- Boeing (2019, 23 Ocak), “Boeing Autonomous Passenger Air Vehicle Completes First Flight”.
<https://www.boeing.com/features/2019/01/pav-first-flight-01-19.page> adresinden alındı.
- Boeing (2021), “Pilot And Technician Outlook 2021–2040”. https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/market/assets/downloads/BMO_2021_Report_PTO_R4_091321AQ-A.PDF
- Bouffault, O., Burchardi, K., Bender, J. P., Gopalakrishna, D., Gauche, V., Paboudjian, C. (2019, 29 Mart), “What Could Blockchain Do for Airlines?”.
<https://www.bcg.com/publications/2019/what-could-blockchain-do-airlines> adresinden alındı.
- Boyne, W., J. (Ed.), (2002), *Air Warfare An International Encyclopedia Volume One, A-L*, California: Abc-Clio.
- Bradburry, S., Carpizo, B., Gentzel, M., Horah, D., Thibert, J. (2018, 4 Ekim), “Digitally enabled reliability: Beyond predictive maintenance”. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/digitally-enabled-reliability-beyond-predictive-maintenance> adresinden alındı.

- Brown, H. (2020, 7 Temmuz), “How drones and aerial vehicles could change cities”.
<https://theconversation.com/how-drones-and-aerial-vehicles-could-change-cities-140907>
adresinden alındı.
- Brown, S. (2021, 21 Nisan), “Machine learning, explained”, <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/machine-learning-explained> adresinden alındı.
- Buckley, J. (1999), *Air Power In The Age Of Total War*, London: UCL Press Limited.
- Bushey, C., Georgiadis, P. (2021, 17 Ağustos), “How extreme weather is hitting airlines”.
<https://www.ft.com/content/55f6c210-00c8-46d1-9165-c99f3dacb938> adresinden alındı.
- Cabinet Office Japan (2018, 8 Ocak), “Society 5.0”.
https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html adresinden alındı.
- Camillo, J. (2021, 18 Ağustos), “Aerospace, Defense and Industry 4.0”.
<https://www.assemblymag.com/articles/96562-aerospace-defense-and-industry-40> adresinden alındı.
- Canalys (2021, 2 Şubat), “Global cloud infrastructure market Q4 2020”.
<https://www.canalys.com/newsroom/global-cloud-market-q4-2020> adresinden alındı.
- Castor (2021, 13 Ekim), “The Best Applications of 3D Printing in the Aerospace Industry”.
<https://www.3dcastor.com/post/the-best-applications-of-3d-printing-in-the-aerospace-industry>
adresinden alındı.
- Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A., Bil, C. (2019), “Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing”, *Journal of Computational Design and Engineering*, 6/4: 516-526. doi: 10.1016/j.jcde.2019.02.001
- Chatterjee, S. G. (2017, 8 Kasım), “Digital Transformation in the airline industry: 10 emerging technologies that are reshaping the flying experience”.
<https://www.robosoftin.com/blog/digital-transformation-in-airline-industry> adresinden alındı.
- Chialastri, A. (2012), “Automation in Aviation”, Kongoli, F. (Ed.) *Automation*, London: IntechOpen: 81:102
- Chittum, S. (2018), *Last Days of the Concorde: The Crash of Flight 4590 and the End of Supersonic Passenger Travel*, Washington, DC: Smithsonian Books.
- Clary, D., A. (2003), *Rocket Man Robert H. Goddard and The Birth of The Space Age* (1. Baskı), New York: Hachette Books.
- Cobb, W., W. (2019, 1 Mart), “How SpaceX lowered costs and reduced barriers to space”.
<https://theconversation.com/how-spacex-lowered-costs-and-reduced-barriers-to-space-112586>
adresinden alındı.
- Columbus, L. (2018, 13 Aralık), “2018 Roundup of Internet of Things Forecasts and Market Estimates”. <https://www.forbes.com/sites/louisacolumbus/2018/12/13/2018-roundup-of-internet-of-things-forecasts-and-market-estimates> adresinden alındı.
- Commission of Expert for Research and Innovation (2015), *Report 2015*, EFI: Berlin.
- Connor, R. (2014, 24 Şubat), “Twenty Years of GPS and Instrument Flight”.

- <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/twenty-years-gps-and-instrument-flight> adresinden alındı.
- Cooper, J., C. (1952), “The International Air Navigation Conference, Paris 1910”, *Journal of Air Law and Commerce*, 19/2: 127-143.
- Cordis (2021), “Research*eu”, (February 2021/99). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/165cb901-69be-11eb-aeb5-01aa75ed71a1/>
- Coşkun, E. A. (2021), “Rasyonel Birey Düşüncesinin Evrimi ve Bilişsel Kısıyollar”, *Bankacılar Dergisi*, 116: 55-80.
- Damar, M. (2021), “Metaverse Shape of Your Life for Future: A bibliometric snapshot”, *Journal of Metaverse*, 1/1: 1-8.
- Dano, R. (2015, 3 Ağustos), “The science of destruction: How WWI drove development in science and technology”. <http://www.lateral-mag.com/articles/issue-1/how-wwi-drove-development-in-science-and-technology> adresinden alındı.
- Deloitte (2017), “Using autonomous robots to drive supply chain innovation”. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-manufacturing-autonomous-robots-supply-chain-innovation.pdf>
- Dingemans, J. (2021, 1 Eylül), “5 Reasons Virtual Reality Will be the Future of Flight Simulators”. <https://pilotswhoaskwhy.com/2021/09/01/5-reasons-virtual-reality-will-be-the-future-of-flight-simulators/> adresinden alındı.
- Doll, D., Aggergaard, R. (2022), “The Airline Guide To PMA”, (MARPA/2022,1-45). <https://pmaparts.org/pdf/AirlineGuideToPMA.pdf>
- Domo (2021), “Data Never Sleeps 9.0”. <https://www.domo.com/learn/infographic/data-never-sleeps-9> adresinden alındı.
- Donacle (2017, 13 Mayıs), “Automating your aircraft inspections”. <https://www.donecle.com> adresinden alındı.
- EASA (2017, 15 Aralık), “U-space Blueprint”, (Sesar). <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20Blueprint%20brochure%20final.PDF>
- EASA (2020, 6 Haziran), “Cybersecurity Main EASA activities”. <https://www.easa.europa.eu/domains/cyber-security/main-easa-activities> adresinden alındı.
- EASA (2021, 26 Nisan), “EASA approves the first Virtual Reality (VR) based Flight Simulation Training Device”. <https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/press-releases/easa-approves-first-virtual-reality-vr-based-flight-simulation> adresinden alındı.
- Ellis, C. (2019, 10 Eylül), “Are VR Flight Simulators The Future of Pilot Training?”. <https://www.aircharterservice.com/about-us/news-features/blog/are-vr-flight-simulators-the-future-of-pilot-training> adresinden alındı.
- Eschen, H., Kötter, T., Rodeck, E., Harnisch, M., Schüppstuhl, T. (2018), “Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry”, *Procedia Manufacturing*, 19/2018: 156-163. doi: 10.1016/j.promfg.2018.01.022

- Estrela, V. V., Hemanth, J., Saotome, O., Nikolakopoulos, G., Sabatini, R. (Ed.) (2020), *Imaging and Sensing for Unmanned Aircraft Systems Volume 2: Deployment and Applications*, London: The Institution of Engineering And Technology
- Evans, R., Gao, J. (2016, 20 Haziran), “DeepMind AI reduces energy used for cooling Google data centers by 40%”. <https://blog.google/outreach-initiatives/environment/deepmind-ai-reduces-energy-used-for/> adresinden alındı.
- eVTOL News (2022), “eVTOL Aircraft Directory”. <https://evtol.news/aircraft> adresinden alındı.
- Eurocontrol (2020), “The Fly AI Report”. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-03/eurocontrol-fly-ai-report-032020.pdf>
- European Commission (2011), “Flightpath 2050 Europe’s Vision for Aviation”, (Publications Office). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/296a9bd7-fef9-4ae8-82c4-a21ff48be673>
- European Commission (2017), “Industry 4.0 in Aeronautics: IoT applications”, (Digital Transformation Monitor). <https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-07/Industry%204.0%20in%20Aeronautics%20-%20IoT%20Applications%20%28v1%29.pdf>
- European Commission (2021), “Industry 5.0 Towards A Sustainable, Humancentric and Resilient European Industry”, (R&I Paper Series). https://msu.euramet.org/current_calls/documents/EC_Industry5.0.pdf
- European Parliament Committee on Industry, Research and Energy (2016), Industry 4.0, ITRE: Brüksel.
- Eurostat (2021, Aralık), “Cloud computing - statistics on the use by enterprises”. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Cloud_computing_-_statistics_on_the_use_by_enterprises adresinden alındı.
- EY (2017), “Top 10 risks in aerospace and defense (A&D)”. https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/manufacturing/ey-top-10-risks-in-a-d.pdf
- EY (2022), “Will bold strategies fuel market-leading growth?”. https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/ceo/ey-ceo-survey-global-report-v2.pdf
- FAA (2022, 2 Ocak), “Origins of the Commercial Space Industry”. https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/about/history/milestones/Commercial_Space_Industry.pdf adresinden alındı.
- Fairs, M. (2017, 4 Mayıs), “Drones will bring "profound change" to architecture and cities, says Mark Dytham”. <https://www.dezeen.com/2017/05/04/mark-dytham-interview-drones-uavs-bring-profound-change-architecture-cities/> adresinden alındı.
- Fédération Aéronautique Internationale (1999, 22 Şubat), “Records”. <https://www.fai.org/records> adresinden alındı
- Florida Tech (2018, 1 Mayıs), “Top Challenges in Aviation Today”. <https://www.floridatechonline.com/blog/aviation-management/top-challenges-in-aviation-today/> adresinden alındı.
- Fortune Business Insight (2019), “Aerospace 3D Printing Market Size, Share & Industry Analysis”. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/aerospace-3d-printing-market->

- Frey, C. B., Osborne, M. A. (2013), "The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs To Computerisation?", *Technological Forecasting and Social Change*, 114: 254-280. doi: 10.1016/j.techfore.2016.08.019
- Frost & Sullivan (2020), *Mega Trends 2025*.
- GE (2015, 14 Nisan), "The FAA Cleared the First 3D Printed Part to Fly in a Commercial Jet Engine from GE". <https://www.ge.com/news/reports/the-faa-cleared-the-first-3d-printed-part-to-fly-2> adresinden alındı.
- Ghislieri, C., Molino, M., Cortese, C.G. (2018), "Work and Organizational Psychology Looks at the Fourth Industrial Revolution: How to Support Workers and Organizations?", *Frontiers in Psychology*, 9/2365: 4. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02365
- Gold, J. (2018, 2 Şubat), "What is the Industrial internet of things? Essentials of IIoT". <https://www.networkworld.com/article/3243928/what-is-the-industrial-internet-of-things-essentials-of-iiot.html> adresinden alındı.
- GOV.UK (2002, 14 Mayıs), "First ever net zero transatlantic flight to take to the skies in 2023". <https://www.gov.uk/government/news/first-ever-net-zero-transatlantic-flight-to-take-to-the-skies-in-2023> adresinden alındı.
- GPT-3 (2020, 8 Eylül), "A robot wrote this entire article. Are you scared yet, human?", <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/sep/08/robot-wrote-this-article-gpt-3> adresinden alındı.
- Grant, R., G., (2002), *Flight: The Complete History of Aviation* (Revize Basım), New York: DK Publishing.
- Grous, A. (2018), "Sky High Economics - Chapter Two: Evaluating the Economic Benefits of Connected Airline Operations". <https://www.lse.ac.uk/business/consulting/assets/documents/sky-high-economics-chapter-two-evaluating-the-economic-benefits.pdf>
- Gunal, M. M. (2019), *Simulation for Industry 4.0*, Istanbul: Springer.
- Hahn Air (2019, 18 Kasım), "Hahn Air issues first airline ticket on the blockchain". <https://www.hahnair.com/en/press-release/8263/2019-11-18/hahn-air-issues-first-airline-ticket-on-the-blockchain> adresinden alındı.
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Rab, S., Suman, R. (2021), "Hyperautomation for the enhancement of automation in industrie", *Sensors International*, 2/100124: 1. doi: 10.1016/j.sintl.2021.100124.
- Harvey, C. (2016, 27 Nisan), "Why solar-powered planes are still a long way from carrying passengers". <https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2016/04/27/why-solar-powered-planes-are-still-a-long-way-from-carrying-passengers/> adresinden alındı.
- Honeywell (2021, 27 Haziran), "Aerospace Industry Focuses on Cybersecurity". <https://aerospace.honeywell.com/us/en/learn/about-us/blogs/aerospace-industry-focuses-on-cybersecurity> adresinden alındı.

- Honeywell (2021, 8 Temmuz), “Big Data Takes Flight to Improve Operations and ROI”. <https://aerospace.honeywell.com/us/en/learn/about-us/blogs/big-data-takes-flight-to-improve-operations-and-roi> adresinden alındı.
- HP (2018, 28 Eylül), “What is the Difference Between AR and VR?”. <https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/what-is-the-difference-between-ar-and-vr> adresinden alındı.
- Huang, T. (2021, 24 Kasım), “What The History Of Automation In Flying Can Teach IT Operations”. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2021/11/24/what-the-history-of-automation-in-flying-can-teach-it-operations/?sh=5c2a1ecd5aea> adresinden alındı.
- HUBS (2021), *Additive manufacturing trend report 2021*.
- Huges, D. (2022, 20 Ocak), “What is the metaverse? Is it the future?”. <https://www.bcs.org/articles-opinion-and-research/what-is-the-metaverse-is-it-the-future/> adresinden alındı.
- Hussain, A., Hanley, T., Rutgers, V., Sniderman, B. (2019, 12 Şubat), “Aerospace & Defense 4.0 Capturing the value of Industry 4.0 technologies”. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/aerospace-defense-companies-digital-transformation.html> adresinden alındı.
- IATA (2018), “Blockchain In Aviation”. <https://www.iata.org/contentassets/2d997082f3c84c7cba001f506edd2c2e/blockchain-in-aviation-white-paper.pdf>
- IATA (2018), “Future Of The Airline Industry 2035”. <https://www.iata.org/contentassets/690df4ddf39b47b5a075bb5dff30e1d8/iata-future-airline-industry-pdf.pdf>
- IATA (2019, 19 Aralık), “The Founding of IATA”. <https://www.iata.org/en/about/history/> adresinden alındı.
- IATA (2020, 8 Mart), “Frequent Flyer Program Benchmark”. <https://www.iata.org/en/services/statistics/intelligence/frequent-flyer-survey/> adresinden alındı.
- IATA (2020), “Airline Maintenance Cost Executive Commentary”. https://www.iata.org/contentassets/bf8ca67c8bcd4358b3d004b0d6d0916f/fy2020-mctg-report_public.pdf
- IBM (2018, 10 Ekim), “IaaS, PaaS, SaaS”. <https://www.ibm.com/tr-tr/cloud/learn/iaas-paas-saas> adresinden alındı.
- IBM (2020, 1 Mayıs), “Deep Learning”, <https://www.ibm.com/cloud/learn/deep-learning> adresinden alındı.
- IBM (2020, 7 Eylül), “What is a digital twin?”. <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> adresinden alındı.
- ICAO (2013, 9 Mart), “ICAO Addresses Shortage of Skilled Aviation Professionals”. <https://www.icao.int/newsroom/pages/icao-addresses-shortage-of-skilled-aviation-professionals.aspx> adresinden alındı.
- ICAO (2016, 3 Ekim), “Annex 19: Safety Management”. https://www.icao.int/safety/SafetyManagement/WebsiteDesignJuly2016/Flyer_US-Letter_ANB-ANNEX19-SM_2016-

10-03.AP.pdf adresinden alındı.

- ICAO (2017), “Airline Operating Costs and Productivity”.
<https://www.icao.int/MID/Documents/2017/Aviation%20Data%20and%20Analysis%20Seminar/PPT3%20-%20Airlines%20Operating%20costs%20and%20productivity.pdf>
- ICAO (2019), “Aviation Benefits Report”. <https://www.icao.int/sustainability/Documents/AVIATION-BENEFITS-2019-web.pdf>
- ICAO (2022, 31 Ocak), “Milestones in International Civil Aviation”. <https://www.icao.int/about-icao/History/Pages/Milestones-in-International-Civil-Aviation.aspx> adresinden alındı.
- ICAO (2022), “Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis”. https://www.icao.int/sustainability/Documents/Covid-19/ICAO_coronavirus_Econ_Impact.pdf
- International Federation of Robotics (2021), *World Robotics 2021 Industrial Robots*, IFR: Frankfurt.
- International Telecommunication Union (2020), *Functional architecture for Internet of things services based on visible light communications*, ITU-T Study Group 20.
- Iyer, S. (2021, 25 Ekim), “Top 8 Challenges of the Aviation Industry: The Pre-COVID Era”.
<https://www.gminsights.com/blogs/top-challenges-of-aviation-industry> adresinden alındı.
- Jo, T., Nho, K., Saykin, A. J. (2019), “Deep Learning in Alzheimer's Disease: Diagnostic Classification and Prognostic Prediction Using Neuroimaging Data”, *Frontiers in Aging Neuroscience*, 11: 1-32. doi: 10.3389/fnagi.2019.00220
- Johnson, D. (2020, 5 Aralık), “What is augmented reality? Here's what you need to know about the 3D technology”. <https://www.businessinsider.com/what-is-augmented-reality> adresinden alındı.
- Josephs, L. (2021, 11 Eylül), “How the Sept. 11 terrorist attacks forever changed air travel”.
<https://www.cnbc.com/2021/09/11/how-9/11-forever-changed-air-travel.html> adresinden alındı.
- Justia (2022, 23 Mayıs), “Patents Assigned to Delta Air Lines, Inc.”.
<https://patents.justia.com/assignee/delta-air-lines-inc> adresinden alındı.
- Kahraman, C., Aydın, S. (2022), *Intelligent and Fuzzy Techniques in Aviation 4.0*.
doi: 10.1007/978-3-030-75067-1
- Kagermann, H. (2013), “Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0”, <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- Kanki, B., Helmreich, R., Anca, J. (Ed.) (2010), *Crew Resource Management*, Academic Press: California.
- Kaur, R. (2021, 1 Eylül), “How can airlines benefit from the blockchain industry?”.
<https://medium.com/analytics-vidhya/how-can-airlines-benefit-from-the-blockchain-industry-8055a85fc458> adresinden alındı.
- Kayton, M., Fried, R., W. (1997), *Avionics Navigation Systems* (2. Baskı), Canada: John Wiley & Sons, Inc.

- Kenney, C. (2011, 29 Kasım), “Why Do Airlines Keep Going Bankrupt?”.
<https://www.npr.org/sections/money/2011/11/29/142892288/why-do-airlines-keep-going-bankrupt> adresinden alındı.
- Korvesis, P. (2017), “Machine Learning for Predictive Maintenance in Aviation”, *Université Paris-Saclay*.
- Kim, E., Youm, S. (2013), “Machine-to-machine platform architecture for horizontal service integration”, *Wireless Communications and Networking*, 79. doi: 10.1186/1687-1499-2013-79
- Klapper, E. S., Ruff-Stahl, H. K. (2019), “Effects of the Pilot Shortage on the Regional Airline Industry: A 2023 Forecast”, *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 6/3: 1-10. doi: 10.15394/ijaaa.2019.1321
- KLM (2020, 28 Ekim), “KLM Cityhopper introduces Virtual Reality training for pilots”.
<https://news.klm.com/klm-cityhopper-introduces-virtual-reality-training-for-pilots/> adresinden alındı.
- KLM (2011, 22 Ağustos), “The First Aircraft”, <https://blog.klm.com/the-first-aircraft/> adresinden alındı.
- Kocabey, E. (2022, 15 Ocak), “Big Data Nedir? Büyük Veri, Yapay Zekanın Zincirlerini Kırmasını Sağlayacak Anahtar Olabilir mi?”. <https://evrimagaci.org/big-data-nedir-buyuk-veri-yapay-zekanin-zincirlerini-kirmasini-saglayacak-anahtar-olabilir-mi-11347> adresinden alındı.
- Lacy, C. (2011), “Aircraft Of the 21st Century — It’s Time For Really Big Changes”.
<https://www.claylacy.com/insights/aircraft-of-the-21st-century-its-time-for-really-big-changes/> adresinden alındı.
- Laney D. (2001), “3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety”, (META Group File: 949). <https://studylib.net/doc/8647594/3d-data-management--controlling-data-volume--velocity--an>.
- Lardinois, F. (2018, 25 Temmuz), “Google Drive will hit a billion users this week”.
<https://techcrunch.com/2018/07/25/google-drive-will-hit-a-billion-users-this-week/> adresinden alındı.
- Le Feuvre, P. (2019, 18 Mart), “Are aviation biofuels ready for take-off?”.
<https://www.iea.org/commentaries/are-aviation-biofuels-ready-for-take-off> adresinden alındı.
- Lee, J. J. (2000), Historical and Future Trends in Aircraft Performance, Cost, and Emissions, Yüksek Lisans Tezi, Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, Aeronautics and Astronautics.
- Losey, S. (2018, 30 Eylül), “The Air Force is revolutionizing the way airmen learn to be aviators”.
<https://www.airforcetimes.com/news/your-air-force/2018/09/30/the-air-force-is-revolutionizing-the-way-airmen-learn-to-be-aviators/> adresinden alındı.
- Lufthansa (2020, 13 Mayıs), “Sustainable Aviation Fuel”.
<https://www.lufthansagroup.com/en/themes/sustainable-aviation-fuel.html> adresinden alındı.
- Lufthansa Systems (2020, 21 Nisan), “Lido Flight Planning Solutions”.
<https://www.lhsystems.com/solutions/flight-operations-solutions/lido-flight-planning-solutions> adresinden alındı.

- Lydon, B. (2016, Mayıs), “Industry 4.0: Intelligent and Flexible Production”.
<https://www.isa.org/intech-home/2016/may-june/features/industry-4-0-intelligent-and-flexible-production> adresinden alındı.
- Mackenzie, D. (2010), *ICAO A History of the International Civil Aviation Organization*, Canada: University of Toronto Press.
- Macleod, N. (2021), *Crew Resource Management Training* (1. Baskı), Newyork: CRC Press.
- Mainblades (2020, 23 Temmuz), “Saving Costs With Drone Inspections”.
<https://mainblades.com/save-costs/> adresinden alındı.
- Markopoulos, E., Luimula, M. (2020), “Immersive Safe Oceans Technology: Developing Virtual Onboard Training Episodes for Maritime Safety”, *Future Internet*, 12/80.
doi: 10.3390/fi12050080
- MarketsandMarkets (2021), *Cloud Computing Market - Global Forecast to 2026*.
- Martin, M. (2018, 31 Ocak), “Innovation In Aviation: The Four Commercial Trends Disrupting The Industry In 2018”. <https://blog.ifs.com/2018/01/innovation-in-aviation-the-four-commercial-trends-disrupting-the-industry-in-2018/> adresinden alındı.
- Mattimoe, G., E., (2000, 20 Mayıs), “The Golden Age of Aviation (1919-1939) and The Aircraft Carrier”. <http://www.uss-bennington.org/history-turningpoints.html> adresinden alındı.
- Mazareanu, E. (2021, 6 Ekim), “Forecast of sustainable aviation fuel used worldwide 2025-2040”.
<https://www.statista.com/statistics/1267846/sustainable-aviation-fuel-worldwide/> adresinden alındı.
- McCarthy, N. (2018, 17 Ağustos), “The New Trend: Narrowbody Aircraft Flying Long Haul”.
<https://www.statista.com/chart/15118/number-of-weekly-departing-long-haul-flights-using-narrowbody-airlines/> adresinden alındı.
- Medhi, G. (2016), *Creating Value with Industry 4.0*, Yüksek Lisans Tezi, Cambridge, Massachusetts Institute of Technology.
- Meyer, P., B. (2013), “The Airplane as An Open-Source Invention”, *Revue économique*, 1/64: 115-132. doi: 10.3917/reco.641.0115
- Microsoft (2016), *What is cloud computing?*.
- Milgram, P., Kishino, F. (1994). “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays”, *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D/12: 1321-1329. doi: 10.1.1.102.4646
- McAfee (2020, 7 Aralık), “New McAfee Report Estimates Global Cybercrime Losses to Exceed \$1 Trillion”. <https://ir.mcafee.com/news-releases/news-release-details/new-mcafee-report-estimates-global-cybercrime-losses-exceed-1> adresinden alındı.
- McKinsey (2011), “The Great Transformer: The Impact of the Internet on Economic Growth and Prosperity”
- McKinsey (2015), “Unlocking the potential of the Internet of Things”
- McKinsey (2017), “A Future That Works: Automation, Employment, And Productivity”

- Monostoria, L. (2014), “Cyber-Physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges”, *Procedia CIRP*, 17: 9-13. doi: 10.1016/j.procir.2014.03.115
- Monroe, D. (1981), “Solar Challenger”. http://www.donaldmonroe.com/solar_challenger.html adresinden alındı.
- Morocho-Cayamcela, M., E., Lee, H., Lim, W. (2019), "Machine Learning for 5G/B5G Mobile and Wireless Communications: Potential, Limitations, and Future Directions", *IEEE Access*, 7: 137184-137206. doi:10.1109/access.2019.2942390
- Mrazova, M. (2014), “Sustainable development – the key for green aviation”, *Incas Bulletin*, 6/1: 109-122. doi: 10.13111/2066-8201.2014.6.1.10
- Mukhopadhyaya, J., Rutherford, D. (2022), “Performance Analysis Of Evolutionary Hydrogen-Powered Aircraft”, ICCT, January 2022.
- Muldowney, S. (2021, 1 Aralık), “Why the future of aviation is still up in the air”. <https://intheblack.cpaaustralia.com.au/business-and-finance/why-future-of-aviation-still-up-in-the-air> adresinden alındı.
- Munson, K. (1978), *Jane’s Pocket Book of Record-Breaking Aircraft*, New York: Collier Books.
- Nahavandi, S. (2019), “Industry 5.0—A Human-Centric Solution”, *Sustainability*, 11/16: 4371. doi: 10.3390/su11164371
- Nakamoto, S. (2008), “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”, *bitcoin.org*.
- NASA (1998), “Air Transportation in the 21st Century”. <https://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/FutoFFlt.html> adresinden alındı.
- NASA (2018), “X-57 Maxwell Electric Plane Educator Guide”, (NP-2018-07-2603 HQ). <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/x-57-maxwell-educator-guide.pdf>
- NASA (2021, 9 Temmuz), “Advanced Air Mobility Project”. <https://www.nasa.gov/aeroresearch/programs/iasp/aam/description/> adresinden alındı.
- NASA (2021, 23 Kasım), “What is the Airspace Technology Demonstration 2?”. <https://www.nasa.gov/ames/atd2> adresinden alındı.
- National Research Council (2014), *Autonomy Research for Civil Aviation: Toward a New Era of Flight*, Washington, DC: The National Academies Press.
- Nelson, E. S., Reddy, D. R. (Ed.) (2017), *Green Aviation: Reduction of Environmental Impact Through*, Cleveland: CRC Press.
- Nergiz, A. (2022, 1 Mayıs), “İtalya’da Uçak – Tren İşbirliği”. <https://www.havayolu101.com/2022/05/01/italyada-ucak-tren-isbirligi/> adresinden alındı.
- Ntounogloub, K., Stavropoulosa, P., Mourtzisa, D. (2018), “4D Printing Prospects for the Aerospace Industry: a critical review”, *Procedia Manufacturing*, 18: 120-129. doi: 10.1016/j.promfg.2018.11.016
- O'Connor, M., C. (2017, 13 Eylül), “Why do airlines struggle with tech, and how can they fix it?”. <https://www.ciodive.com/news/why-do-airlines-struggle-with-tech-and-how-can-they-fix-it/504672/> adresinden alındı.

- Obitko, M., Jirkovský, V. (2015), “Big Data Semantics in Industry 4.0”, *HoloMAS*, 9266: 217-229. doi: 10.1007/978-3-319-22867-9_19
- OECD (2016), *International Regulatory Co-operation: The Role of International Organisations in Fostering Better Rules of Globalisation*, OECD Publishing: Paris.
- OIG (2019), “FAA Has Made Progress but Additional Actions Remain To Implement Congressionally Mandated Cyber Initiatives” (AV2019021). <https://www.oig.dot.gov/sites/default/files/FAA%20Cybersecurity%20Program%20Final%20Report%5E03.20.19.pdf>
- Oracle (2021), *Büyük Veri nedir?*.
- Overton, J. (2019, 17 Ekim), “Fact Sheet | The Growth in Greenhouse Gas Emissions from Commercial Aviation (2019)”. <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-the-growth-in-greenhouse-gas-emissions-from-commercial-aviation> adresinden alındı.
- Padfield, G., D., Lawrence, B. (2005), “The birth of the practical aeroplane: An appraisal of the Wright brothers' achievements in 1905”, *Aeronautical Journal*, 109/1100: 421-437. Doi: 10.1017/S0001924000086474
- Padgiri, R., Ahmed, A. (2016), Big Data: The V's of the Game Changer Paradigm, 18th IEEE High Performance Computing and Communications, Sydney, Aralık 2016, s. 20.
- Parsons, D. (2019, 1 Ağustos), “Full Flight Simulators Incorporate VR for Next Generation of Pilots”. <https://www.aviationtoday.com/2019/08/01/training-brain-mind/> adresinden alındı.
- Parsons, P. (2020), *Space Travel Ten Short Lessons* (1. Baskı), Great Britain: Johns Hopkins University Press.
- Patentwire (2019), “Innovation in Aviation”. <https://www.patentwire.co.in/wp-content/uploads/2019/05/Innovation-in-Aviation.pdf>
- Pearson, J. (2022, 10 Mayıs), “9+ Hours On An Airbus A321LR: The World's Longest Narrowbody Flights”. <https://simpleflying.com/worlds-longest-narrowbody-flights/> adresinden alındı.
- Pekoske, D., P. (2021, 29 Eylül), “20 Years After 9/11: The State of the Transportation Security Administration”. <https://www.tsa.gov/news/press/testimony/2021/09/29/20-years-after-911-state-transportation-security-administration> adresinden alındı.
- Pelt, M., V. (2005), *Space Tourism-Adventures in the Earth and Beyond* (1. Baskı), New York: Springer.
- Peters, G., Panayi, E. (2016), “Understanding Modern Banking Ledgers Through Blockchain Technologies: Future of Transaction Processing and Smart Contracts on the Internet of Money”, Tasca P., Aste T., Pelizzon L., Perony N. (Ed.), *Banking Beyond Banks and Money*, Switzerland: Springer, Cham: 239-278.
- Peters, L. (2022, 13 Mayıs), “Emirates Plans To Accept Bitcoin As A Form Of Payment”. <https://simpleflying.com/emirates-bitcoin-payment/> adresinden alındı.
- Petrescu, R., V., V., Aversa, E., Akash, B., Bucinell, R., Corchado, J., Apicella, A., Petrescu, F., I., T. (2017), “History of Aviation-A Short Review”, *Journal of Aircraft and Spacecraft Technology*, 1/1: 30-49. doi: 10.3844/jastsp.2017.30.49

- Possible (2022), “Missed Targets A Brief History of Aviation Climate Targets”.
<https://static1.squarespace.com/static/5d30896202a18c0001b49180/t/6273db16dcb32d309eaf126e/1651759897885/Missed-Targets-Report.pdf>
- Price, J., C., Forrest, J., S. (2016), *Practical Aviation Security Predicting and Preventing Future Threats* (3. Baskı), Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Prisecaru, P. (2016), "Challenges of the Fourth Industrial Revolution." *Knowledge Horizons - Economics*, 8/1: 57-62.
- Pushkar, R., G. (2002, Haziran), “Comet’s Tale”. <https://www.smithsonianmag.com/history/comets-tale-63573615/> adresinden alındı.
- PwC (2016), “Global Industry 4.0 Survey: Building the Digital Enterprise”
- PwC (2019, 28 Mart), “Data for the life of the aircraft”.
<https://www.pwc.com/gx/en/industries/aerospace-defence/publications/blockchain-in-aerospace.html> adresinden alındı.
- PwC (2019), “Seeing is believing”
- Ramaswamy, N. P. (2019, 24 Şubat), “Blockchain breakthroughs that are changing the airline industry”. <https://www.virtusa.com/perspectives/article/blockchain-breakthroughs-that-are-changing-the-airline-industry> adresinden alındı.
- Reisinger, D. (2016, 9 Haziran), “The World’s First Human-Ready Drone Preparing for Takeoff”.
<https://fortune.com/2016/06/09/ehang-human-drone/> adresinden alındı.
- Réseau Canopé (2020, 20 Eylül), “Technological And Scientific Progress During The First World War”. <https://www.reseau-canope.fr/apocalypse-10destins/en/theme-based-files/technological-and-scientific-progress-during-the-first-world-war.html> adresinden alındı.
- Riechmann, J. M. (2020), *Blockchain Takes to The Skies an Assessment of Blockchain Applications In The Airline Industry*, Yüksek Lisans Tezi, Portekiz, Portekiz Katolik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ritchie, H. (2020, 22 Ekim), “Climate change and flying: what share of global CO2 emissions come from aviation?”. <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-aviation> adresinden alındı.
- Rifkin, J. (2013), “Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World”, Griffin: 56.
- Rojas, R. A., Rauch, E., Vidoni, R., Matt, D. T. (2017), “Enabling Connectivity of Cyber-physical Production Systems: A Conceptual Framework”, *Procedia Manufacturing*, 11: 822-829.
doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.184
- Roos, D. (2022, 10 Şubat), “How Airplanes Were Used in World War I”.
<https://www.history.com/news/world-war-i-aviation-airplanes> adresinden alındı.
- Ros, M. (2018, 16 Şubat), “What will passenger planes look like in 2068?”.
<https://edition.cnn.com/travel/article/passenger-planes-future-look/index.html> adresinden alındı.
- Salah, K., Jayaraman, R., Hasan, H. (2020), “The Role of Blockchain Technology in Aviation Industry”, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 36/3: 1-11. Doi:

- Salas, E. B. (2022a, 12 Nisan), “Market size of the global airline industry 2018-2021”. <https://www.statista.com/statistics/1110342/market-size-airline-industry-worldwide> adresinden alındı.
- Salas, E. B. (2022b, 12 Nisan), “Mishandled bags - cost to airline industry 2007-2020”. <https://www.statista.com/statistics/268276/costs-for-the-airline-industry-due-to-mishandled-bags-since-2007> adresinden alındı.
- Satair (2020, 1 Ocak), “The top 10 risks the aviation industry is facing”. <https://blog.satair.com/ten-risk-in-aviation-industry> adresinden alındı.
- Seabridge, A., Moir, I. (2020), *Design and Development of Aircraft Systems* (3. Baskı), Hoboken, N.J. USA: Wiley.
- Sevinçel, P. (2018, 6 Temmuz), “Aviation 4.0: The Age of Democratized Aerial Mobility”, <https://medium.com/aviaryproject/aviation-4-0-the-age-of-democratized-aerial-mobility-33c871f6f2a6> adresinden alındı.
- Shah, D. (2014, 19 Aralık), “Millions of data points flying in tight formation”. <https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/millions-of-data-points-flying-part2-121914/a> adresinden alındı.
- Simkeviciute, S. (2018, 18 Haziran), “Aviation Tech Talks: Why do airlines stay behind on new tech?”. <https://www.aerotime.aero/articles/21426-aviation-tech-talks-why-do-airlines-stay-behind-on-new-tech> adresinden alındı.
- Singapore Airlines (2018, 5 Şubat), “KrisFlyer to Launch World's First Blockchain-Based Airline Loyalty Digital Wallet”. https://www.singaporeair.com/th_TH/th/ppsclub-krisflyer/latestnews-article/?id=jddgt53r adresinden alındı.
- Singh, S. (2022, 8 Mayıs), “Supersonic Savings: Boom Overture Tickets Will Be 75% Cheaper Than Concorde”. <https://simpleflying.com/boom-overture-tickets-will-be-75-cheaper-than-concorde/> adresinden alındı.
- SITA (2020, 12 Mart), “Tracking of ULDs through blockchain to save industry \$400M”. [https://www.sita.aero/pressroom/news-releases/tracking-of-ulds-through-blockchain-to-save-industry-\\$400m/](https://www.sita.aero/pressroom/news-releases/tracking-of-ulds-through-blockchain-to-save-industry-$400m/) adresinden alındı.
- SITA (2021), “Baggage IT Insights”. <https://www.sita.aero/globalassets/docs/surveys--reports/baggage-it-insights-2021.pdf>
- Sky4.0 (2019, 28 Ekim), “Sky4.0 Project”. <https://sky-project.eu/en/> adresinden alındı.
- Smartrek (2020), *Dissecting the Industrial IoT*.
- Smith, G., E., Mindell, D., A. (2000), “The Emergence Of The Turbofan Engine”, Galison, P., Roland, A. (Ed.), *Atmospheric Flight in the Twentieth Century*, Dordecht: Springer: 106-156.
- Smith, Y. (2014, 17 Mayıs), “Current Problems Associated with the End of the Third Industrial Revolution”. <https://www.nakedcapitalism.com/2014/05/problems-associated-with-end-of-third-industrial-revolution.html> adresinden alındı.

- Smithsonian (2014, 3 Şubat), “The First Generation of Jet Airlines”.
<https://airandspace.si.edu/exhibitions/america-by-air/online/jetage/jetage02.cfm> adresinden alındı.
- Sniderman, B., Mahto, M., Cotteleer, M. (2016), “Industry 4.0 and Manufacturing Ecosystems”, (Deloitte University Press).
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-industrial-products/Deloitte-Industry-4-0-and-manufacturing-ecosystems.pdf>
- Space Services (2017, 4 Nisan), “The launch of Conestoga 1”. <https://www.spaceservicesinc.com/conestoga-1> adresinden alındı.
- Sprehe, M. (2020, 1 Temmuz), “Aircraft Visual Inspection”. <https://mainblades.com/aircraft-visual-inspection/> adresinden alındı.
- Statista (2016), *Internet of Things - number of connected devices worldwide 2015-2025*.
- Stephens, A. (Ed.) (2001), *The War In The Air 1914-1994*, Alabama: Air University Press.
- Sumer, B. (2018), “Impact of Industry 4.0 on Occupations and Employment in Turkey”, *European Scientific Journal*, 14/10: 1. doi: 10.19044/esj.2018.v14n10p1
- Sun, X., Wandelt, S., Zhang, A. (2021), “Technological and educational challenges towards pandemic-resilient aviation”, *Transport Policy*, 114: 104:115. doi: 10.1016/j.tranpol.2021.09.010
- Sutter, J., F. (2006), *747: Creating the World's First Jumbo Jet and Other Adventures from a Life in Aviation* (1. Baskı), New York: Smithsonian Books.
- Szabó-Szentgróti, G., Végvári, B., Varga, J. (2021), “Impact of Industry 4.0 and Digitization on Labor Market for 2030-Verification of Keynes’ Prediction”, *Sustainability*, 13/7703: 7. doi: 10.3390/su13147703
- T4 (2021, 23 Ocak), “Airline Market Share”. <https://www.t4.ai/industry/airline-market-share> adresinden alındı.
- Tepe, S. (2021), “The Impact of Industry 4.0 on Occupational Health and Safety”, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33/1: 122-130. doi: 10.7240/jeps.777641
- The Boston Consulting Group (2014), *The Rise of Robotics*, BCG.
- The Boston Consulting Group (2015), *The Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, BCG
- The Boston Consulting Group (2016), *Sprinting the Value in Industry 4.0*, BCG.
- The Space Report (2021), “The 36th Annual Space Symposium Special Edition”.
<https://www.thespacereport.org/wp-content/uploads/2021/08/TSR-special-edition.pdf>
- Thomas, G. P. (2013, 6 Mart), “Composites Used in the Aerospace Industry”.
<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8152> adresinden alındı.
- Thomas Insight (2019, 12 Kasım), “A Brief History of Aircraft Materials”.
<https://www.thomasnet.com/insights/a-brief-history-of-aircraft-materials/> adresinden alındı.

- Thomas, P. (2021, 10 Haziran), “How the next supersonic jets can succeed where Concorde failed”. <https://edition.cnn.com/travel/article/how-supersonic-flights-can-succeed/index.html> adresinden alındı.
- Troyer, H., Sieunarine, N., Pichainarongk, S., Bidaisee, S. (2021), “COVID-19 and Aviation”, *Journal of Infectious Diseases & Case Reports*, 2/3: 1-6. doi: 10.47363/JIDSCR/2021(2)141.
- Turkish Airlines (2020, 21 Nisan), “Airbus A321-200”. <https://www.turkishairlines.com/tr-int/ucak-bileti/ucus-deneyimi/filo/airbus-a321-200/> adresinden alındı.
- Ukwandu, E., Farah, M., Hindy, H., Bures, M., Atkinson, R., Tachtatzis, C., Bellekens, X. (2021), “Cyber-Security Challenges in Aviation Industry: A Review of Current and Future Trends”, *Computer Science*. doi: 10.48550/arXiv.2107.04910
- Umweltbundesamt (2018), *Focus on the future: 3D printing Trend report for assessing the environmental impacts*.
- Uziel, D. (2006), “Between Industrial Revolution and Slavery. Mass Production in the German Aviation Industry in World War II”, *History and Technology*, 22/3: 277-300. doi: 10.1080/07341510600803341
- Valdes, R. A., Comendador, V. F. G., Sanz, A. R., Castán, J. P. (2018), Aviation 4.0: More Safety through Automation and Digitization, Kuşhan, M. C. (Ed.), *Aircraft Technology*, IntechOpen: 225-236.
- Venditti, B. (2022, 27 Ocak), “The Cost of Space Flight Before and After SpaceX”. <https://www.visualcapitalist.com/the-cost-of-space-flight/> adresinden alındı.
- Verhovek, S., H. (2010), *Jet Age: The Comet, the 707, and the Race to Shrink the World*, New York: Penguin Group.
- Wagner, S. (2019 29 Ağustos), “Augmented Reality Assists Pilot Training”. <https://quantumera.com/augmented-reality-pilots-aviation> adresinden alındı.
- Waldek, S. (2018, 24 Ekim), “Behind the supersonic rise and fall of the Concorde, 15 years after its final flight”. <https://www.popsci.com/concorde-anniversary-future-of-supersonic-flight/> adresinden alındı.
- Watts, S., Raza, M. (2019, 15 Haziran), “SaaS vs PaaS vs IaaS: What’s The Difference & How To Choose”. <https://www.bmc.com/blogs/saas-vs-paas-vs-iaas-whats-the-difference-and-how-to-choose/> adresinden alındı.
- West D. M. (2018), *The Future of Work Robots, Ai, And Automation*, Washington: Brookings Institution Press.
- Wiegand, N. (2021, 9 Kasım), “The aviation of the future - a glimpse into 2050”. <https://arts.eu/insights/article/air-travel-in-2050-a-glimpse-into-the-future/> adresinden alındı.
- Wilkins, J. (2018, 15 Ağustos), “How Industry 4.0 Is Improving Peoples’ Work-Life Balance”. <https://www.impomag.com/home/article/13245182/how-industry-40-is-improving-peoples-worklife-balance> adresinden alındı.
- WIPO (2020, 1 Mart), “Airbus: making the blue skies green”. https://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2020/01/article_0005.html adresinden alındı.

WMO (2021), “WMO Atlas of Mortality and Economic Losses From Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019)”. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10989

ZeroAvia (2020, 25 Eylül), “ZeroAvia Completes World First Hydrogen-Electric Passenger Plane Flight”. <https://www.zeroavia.com/press-release-25-09-2020> adresinden alındı.

Zhang, L., Wang, X., Pei1, J., Zho, Y. (2020), “Review of automated fibre placement and its prospects for advanced composites”, *Journal of Materials Science*, 55: 7121–7155. doi: 10.1007/s10853-019-04090-7

Zhou, R., Le Cardinal, J. (2019), Exploring the Impacts of Industry 4.0 from a Macroscopic Perspective, Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design, 26 Temmuz 2019, s. 2111:2120.

Zhou, K., Liu, T., Zhou, L. (2015), Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges, 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Zhangjiajie, 15-17 Ağustos 2015, s. 2147-2152.

Zrix (2020), “Airline Industry Can Save Millions With The Help Of Blockchain”. <https://www.zrix.com/blog/airline-industry-save-millions-with-Blockchain> adresinden alındı.