

**DIJİTAL DÖNÜŞÜMÜN ŞİRKETLERİN EKONOMİK
FAALİYETLERİNE KATKISI**

Ali Eren ÇOPUR



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN ŞİRKETLERİN EKONOMİK FAALİYETLERİNE
KATKISI**

Ali Eren ÇOPUR
0000-0001-6452-3458

Prof. Dr. Hasan VURAL
0000-0003-2323-4806
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
TARIM İŞLETMECİLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA– 2022

TEZ ONAYI

Ali Eren ÇOPUR tarafından hazırlanan ‘‘DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN ŞİRKETLERİN EKONOMİK FAALİYETLERİNE KATKISI’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hasan VURAL

Baőkan : Prof. Dr. Hasan VURAL İmza
0000-0003-2323-4806
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakóltesi,
Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Őule TURHAN İmza
0000-0001-9155-8170
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakóltesi,
Tarım İletmeciliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. C. Ece TAMER İmza
000-0003-0441-1707
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakóltesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Elif SAVAŐ İmza
0000-0002-4878-0013
Balıkesir Üniversitesi,
Mühendislik Fakóltesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Aycan YİĞİT ÇINAR İmza
0000-0003-2038-725X
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doęa Bilimleri Fakóltesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

31/08/2022

Ali Eren ÇOPUR

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Hasan VURAL

31.08.2022

Ali Eren ÇOPUR

31.08.2022

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım
yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN ŞİRKETLERİN EKONOMİK FAALİYETLERİNE KATKISI

Ali Eren ÇOPUR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan VURAL

Endüstri 4.0 ile gerçekleşecek olan şirketlerin dijitalleşmesindeki ana amaç; kaynak verimliliğinin sağlanarak, üretkenliğin ve ürün çeşitliliğinin artırılarak, optimizasyon ve akıllı üretim teknikleri ile ürün ve hizmet üretiminin daha düşük maliyet ile daha kaliteli bir şekilde organize edilmesi sonucu şirketlerin rekabet gücünü artırmalarıdır.

Tez kapsamında; endüstri 4.0 ile ilgili tanımlamalar, bu kavramın önemi, dijitalleşme de herbirinde farklı bir önemi olan endüstri 4.0 teknolojileri, bunların tanımlamaları ve şirketlerde kullanımlarına yönelik örnekler verilmiştir. Farklı sektörlerin dijitalleşme stratejileri ve öncelikleri farklı olması nedeni ile tek bir sektöre odaklanmak yerine imalat, otomotiv, lojistik, gıda ve tarım, eğitim, perakende, finans ve bankacılık, telekomünikasyon ve medya, reklamcılık gibi farklı uygulamalara ve farklı ihtiyaçlara sahip sektörlerin genel anlamı ile dijital dönüşümleri tartışılmış ve global ölçekte bazı girişimlerden bahsedilmiştir. Ayrıca, tez çalışmasında şirketlerin dijitalleşmesi ile birlikte ekonomik, çevresel, sosyal süreçlerde bazı fırsatlar tartışılmış aynı zamanda bu dijital dönüşümün ihracata etkilerinden ve bazı stratejilerden ilgili raporlar yorumlanarak bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, Endüstri 4.0, Nesnelerin İnterneti, Tarımda Dijitalleşme, Gıdada Dijitalleşme
2022, xi+195 sayfa

ABSTRACT

P.hD Thesis

THE CONTRIBUTION OF DIGITAL TRANSFORMATION TO THE ECONOMIC ACTIVITIES OF COMPANIES

Ali Eren OPUR

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Economics

Supervisor: Prof. Dr. Hasan VURAL

The main purpose of the digitalization of companies, which will be realized with Industry 4.0, is to increase the competitiveness of companies as a result of providing resource efficiency, increasing productivity and product diversity, organizing product and service production with lower cost and higher quality with digital optimization and smart production techniques.

Within the scope of the thesis, definitions of industry 4.0, the importance of this concept, each industry 4.0 technologies which have different importance in digitalization, their definitions and examples of their use in companies are provided. Because of the variation of digitalization strategies and priorities of different sectors, instead of focusing on a single sector, the general overview was provided for sectors with different applications and different needs such as manufacturing, automotive, logistics, food and agriculture, education, retail, finance and banking, telecommunications and media, advertising. Digital transformation activities were discussed and some initiatives on a global scale were mentioned. In addition, in this dissertation study, some opportunities in economic, environmental and social processes with the digitalization of companies were discussed, and an evaluation was made by interpreting the effects of this digital transformation on exports and some strategies.

Key words: Digitalization, Industry 4.0, Internet of Things (IoT), Digitization in Agriculture, Digitization in Food

2022, xi+195 pages

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlayıp, tüm paydaşların takdirine sunmak benim adıma son derece önemli ve değerli bir deneyim oldu. Tezin yazım aşamasında çok sayıda farklı akademik çalışma ve materyallerden faydalanmanın yanı sıra, birçok akademisyenle istişare etme ve tecrübelerinden yararlanma fırsatı yakaladım. Mevcut kariyerimdeki tecrübelerimi, farklı alanlarda uzmanlaşmış olan ve akademik dünyada söz sahibi olan değerli hocalarım, rehberlerim ve arkadaşlarımla bilgi ve yol gösterici yaklaşımları ile birleştirmiş olmak beni hem çok mutlu etti hem de kişisel gelişimimde önemli bir rol oynadı.

Bu vesile ile doktora programıma başladığım günden bu yana bana ihtiyaç duyduğum her konuda biran bile düşünmeksizin emeğini esirgemeyen ve bu tezin hazırlanışının her aşamasında bana yol gösterici olan değerli tez başkanı ve danışmanı hocam Sayın Prof. Dr. Hasan VURAL'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi iletmek istiyorum. Bunun yanında, tezimin başlangıç aşamasından bu yana ihtiyaç duyduğum tüm desteği ve yönlendirmeyi yapan tez izleme komitesindeki değerli hocalarıma gönülden şükran ve teşekkürlerimi sunuyorum. Tezimin hazırlanmasında, araştırmaların belirlenmesinde, tezin yazım kuralları denetimi konusunda büyük özveri ile desteğini esirgemeyen Gıda Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Sayın Taha Turgut ÜNAL'a sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum. Eğitimimin brokratik çözümlerinde emeğini esirgemedi yardımcı olan Gıda Mühendisliği Bölüm Sekreteri Sayın Meryem TÜRKÖZ'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca hayatımın her aşamasında bana rol model olmuş, yakaladığım tüm başarıların en büyük kahramanlarının başında gelen ve sahip olduğum her şeyin mimarı değerli hocam ve sevgili babam Sayın Prof. Dr. Ömer Utku ÇOPUR'a tüm kalbimle teşekkürlerimi iletiyorum. Akademik hayatın değerini bana küçük yaşlarımdan bu yana hissettiren ve öğütleriyle beni her zaman doğru yola yönlendiren sevgili annem Gıda Yüksek Mühendisi Sayın Hülya ÇOPUR'a gönülden sevgi ve saygılarımı iletiyorum. Son olarak, bu zorlu süreçte beni her daim motive eden ve bana olan inancını sürekli olarak hissettiren sevgili eşim Sayın Pınar ÇOPUR'a şükran ve teşekkürlerimi iletiyorum.

Ali Eren ÇOPUR

02/08/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Endüstri 4.0, Önemi ve Dijital Dönüşüm.....	3
2.2. Endüstri 4.0'ın Doğuşunun Nedenleri.....	7
2.3. Endüstri 4.0'ı Tetikleyen Teknolojiler.....	7
2.3.1. Nesnelerin İnterneti (IoT).....	8
2.3.1.1. Nesnelerin İnternetinin Tarihsel Süreci.....	10
2.3.1.2. Nesnelerin İnterneti için Gerekli Ortamlar.....	11
2.3.1.2.1. RFID Teknolojisi.....	11
2.3.1.2.2. IEEE 802.11.....	13
2.3.1.2.3. Barkod, QR Kod.....	14
2.3.1.2.4. ZigBee.....	15
2.3.1.2.5. Bluetooth Teknolojisi.....	16
2.3.1.3. Wi-Fi, Bluetooth ve Zigbee Arasında Performans Karşılaştırılması.....	16
2.3.1.4. Ürün Yaşam Döngüsü Yönetiminde IoT Kullanımı.....	19
2.3.1.5. IoT Teknolojisinin Endüstriyel Üretim Sistemleri ile Birleştirilmesi.....	19
2.3.2. Yapay Zeka.....	20
2.3.3. Simülasyon Teknolojisi.....	24
2.3.4. Sensör Teknolojisi.....	27
2.3.4.1. Sensörlerin Özellikleri.....	28
2.3.4.2. Sensör Teknolojisinin Kullanıldığı Alanlar ve Trendler.....	29
2.3.4.2.1. Giyilebilir sensörler (Spor & Sağlık).....	30
2.3.4.2.2. Otomotiv Sektörü ile İlgili Kullanımlar.....	37
2.3.4.2.3. Robot Üzerinde Kullanımları.....	37
2.3.4.2.4. Sensörlerin Akıllı Evlerde Kullanımları.....	37
2.3.4.2.4.1. Akıllı Evlerde Kullanılan Sensör Çeşitleri.....	38
2.3.4.2.5. Sensörlerin Askeri Uygulamalarda Kullanımları.....	40
2.3.5. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi.....	40
2.3.5.1. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Tarihsel Süreci.....	41
2.3.5.2. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Günümüzde Kullanım Alanları.....	43
2.3.5.3. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Uygulanma Zorlukları.....	45
2.3.6. Bulut Teknolojisi.....	45
2.3.6.1. Bulut Bilişim Mimarisi.....	47
2.3.6.2. Bulut Bilişim Kullanım Alanları.....	48
2.3.7. Büyük Veri ve Analizi.....	51
2.3.8. Endüstriyel internet.....	51
2.3.9. Otonom Robot Teknolojisi.....	51
2.3.10. Eklemeli İmalat.....	52
2.3.10.1. Eklemeli İmalat Çeşitleri.....	53
2.3.10.2. Eklemeli İmalat Avantajları ve Dezavantajları.....	55

2.3.10.3. Eklemeli İmalat Teknolojisini Kullanan Sektörler	56
2.3.11. Yatay-Dikey Entegrasyon	62
2.3.12. Siber Güvenlik	63
2.4. Endüstri 4.0 Avantajları	64
2.5. Endüstri 4.0 zorlukları ile başa çıkabilmek adına çağdaş yöneticilerin sahip olması gereken yetkinlikler.....	64
3. MATERYAL VE YÖNTEM	66
3.1. Materyal	66
3.2. Yöntem.....	66
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	67
4.1. İmalat Sektörü	67
4.1.1. İmalat Sektörü Dijital Dönüşümü	70
4.1.1.1. İstihdam ve İşgücü	76
4.1.1.2. Verimlilik	78
4.1.1.3. Ülke Politikaları	79
4.2. Otomotiv Sektörü ve Dijital Dönüşümü	82
4.2.1. Otomotiv 4.0 ve Tüketici Davranışları.....	85
4.2.2. Otomotiv 4.0 ile İlgili Çalışmalar	86
4.2.3. Sektör içinden Örnekler	88
4.3. Lojistik Sektörü.....	89
4.3.1. Lojistik Sektörünün Dijital Dönüşümü	90
4.4. Gıda ve Tarım Sektörü	94
4.4.1. Gıda Sektörü ve Dijital Dönüşüm	94
4.4.1.1. Gıda Sektöründe Makine Görüşü Kullanım Alanları.....	97
4.4.2. Tarım Sektörü ve Dijital Dönüşüm	104
4.4.2.1. Tarımsal Üretimde Hassaslık ve Kontrol Edilebilen Parametreler	106
4.4.2.2. Hassas Tarım.....	107
4.4.2.3. Dijital Tarım.....	109
4.4.2.4. Akıllı tarım	109
4.4.2.5. Tarımda Yapay Zeka ve IoT (Nesnelerin İnterneti) Teknolojilerinin Etkileri.	110
4.4.2.6. Hassas Tarımda Uygulanan Makine Öğrenmesi Uygulamaları.....	111
4.4.2.6.1. Toprak Özellikleri ve Hava Durumunun Tahminlenmesi.....	111
4.4.2.7. Hassas Tarımda Uygulanan Makine Görüşü Teknolojileri.....	112
4.4.2.7.1. Bitki, Meyve Saptanması	113
4.4.2.7.2. Hasat Zamanı Uygulamaları	115
4.4.2.7.2.1. Meyve Sınıflandırılması ve Olgunluk Tespiti.....	115
4.4.2.7.2.2. Meyvelerin Sayılması ve Verimin Tahminlenmesi	117
4.4.2.7.2.3. Bitki Sağlığının Korunması, Hastalıkların Saptanması Yaklaşımı	118
4.4.2.7.2.4. Makine Görüşüne Dayalı Tarımsal Robotlar	120
4.4.2.8. Günümüzde Tarımda Dijitalleşme ile Bizi Neler Bekliyor?.....	121
4.5. Eğitim Sektörü ve Dijitalleşme	122
4.6. Sağlık Sektörü ve Dijitalleşme.....	124
4.7. Perakende Sektörü ve Dijital Dönüşüm	127
4.7.1. E-Ticaret.....	128
4.7.1.1. Dünyada İnternet ve E-ticaret	129
4.7.1.2. Türkiye’de E-ticaret	132
4.7.1.3. Türkiye’de E-ticaretin Büyümesi için Ele Alınması Gereken Konular	134
4.8. Finans Sektörü ve Bankacılığın Dijital Dönüşümü.....	138

4.8.1. Bankacılık	139
4.8.2. Bankacılığın Dijital Dönüşümü	139
4.9. Telekomünikasyon ve Medya Sektörü.....	143
4.10. Reklamcılık	144
4.11. Diğer Sektörler	145
4.11.1. Enerji Sektörü.....	145
4.11.2. Teknoloji	146
4.11.3. Yayıncılık.....	147
4.11.4. Profesyonel Hizmetler.....	147
4.11.5. Girişimler	148
4.11.6. Dünyada Yapay Zeka/Makine Öğrenmesi Kullanan Startup'lar	150
4.12. Fırsatlar ve Etkiler.....	156
4.12.1. Ekonomik Fırsatlar.....	156
4.12.2. Çevresel Fırsatlar	157
4.12.3. Sosyal Fırsatlar.....	157
4.12.4. İhracata Etkiler	158
4.12.5. Dijital Dönüşüm Endeksleri Ve Stratejiler	159
5. SONUÇ.....	166
KAYNAKLAR	168
ÖZGEÇMİŞ	195

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
AGV	Otomatik Yönlendirmeli Araçlar
AI	Yapay Zeka
AR	Artırılmış Gerçeklik
BİT	Bilgi ve İletişim Teknolojileri
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	Bilgisayar Destekli İmalat
CPS	Siber Fiziksel Sistemler
CV	Bilgisayarlı Görü
DL	Derin Öğrenme
EPMA	Avrupa Toz Metalurjisi Derneği
ERP	Kurumsal Kaynak Planlama
HSI	Hiperspektral görüntüleme
IoT	Nesnelerin İnterneti
IWS	İnternet Web İstatistikleri
ML	Makine Öğrenmesi
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama
SCI	Standardizasyon Konseyi Endüstri 4.0
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
VR	Sanal Gerçeklik
WEF	Dünya Ekonomik Forumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. Siber-fiziksel sistemler ve Simülasyon (Gunal, 2019).....	6
Şekil 2. Bluetooth, Wi-Fi ve ZigBee teknolojileri için performans karşılaştırması a) Düğüm sayısına göre paket kaybı yüzdesi 16 b) Düğüm sayısı ve mesafe ilişkisi c) Düğüm arası mesafeye bağlı olarak % paket kaybı (Suresh ve diğerleri, 2014).....	17
Şekil 3. Yapay zeka ve barındırdığı alt teknolojiler (GN, 2018).....	21
Şekil 4. Makine öğrenmesinde öğrenme algoritmaları.....	22
Şekil 5. Eklemeli imalat ve simülasyon (Gunal, 2019).....	27
Şekil 6. Sensör teknolojisinde trendler (Kanoun ve Trankler 2005).....	30
Şekil 7. Giyilebilir akıllı teknolojilerde verilerin sensörler vasıtası ile algılanması ile başlayan süreçten aplikasyon aşamasında verilerin görselleştirilmesine kadar uzanan sürecin blok diyagramı.....	31
Şekil 8. Sensörler ve pazar payları, Grandview Araştırması'ndan uyarlanan veriler (Report, 2018).....	33
Şekil 9. Giyilebilir teknoloji çerçevesinin (framework) blok diyagram örneği (Aroganam ve diğerleri, 2019).....	35
Şekil 10. Tıbbi anlamda kullanılan giyilebilir teknolojinin iş akış diyagramı (Aroganam ve diğerleri, 2019)	36
Şekil 11. Artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR)(Gunal, 2019)....	41
Şekil 12. Veri merkezi ağ altyapısının temel katmanlı tasarımı (Zhang ve diğerleri, 2010).....	49
Şekil 13. Metal eklemeli imalat teknolojileri.....	53
Şekil 14. Toz yatak teknolojisi üretim prosesi.....	53
Şekil 15. Doğrudan enerji ya da lazer metal biriktirme teknolojisi prosesi (Anonim, 2021i).....	55
Şekil 16. a)A320neo Geared Turbofan™ motor için boroskop başlıkları; b)labirent contanın aşınmış dudaklarının onarımı; c)Uydu anteni için destek; d)RSC Emisyon Tarağı; e)Vakum permeatörü; f) Çıkarılabilir Kısmi Takma Diş (RPD) İskeleti; g)İşitme cihazı; h)Kraniyal implant; i)Basınç sensörü muhafazası; j)Temizlenebilir Filtre Diski; k)Kalıp döküm için takım; l)Takım parçaları; m)Kalıp/nozül, vb.'de uyumlu soğutma kanalı; n)Isı eşanjörü prototipi (Anonim, 2019d)	57
Şekil 17. Yatay ve dikey entegrasyon (Yelis, 2021).....	63
Şekil 18. Tipik bir HSI sisteminin konfigürasyonu I: ışık kaynağı; II: spektrograf (a: görüntüleme ünitesi; b: dalgaboyu dağıtma aparatı); III: bilgi işleyicisi (Feng ve Sun, 2012).....	96
Şekil 19. Farklı melamin konsantrasyonları ile karıştırılmış süt tozunun Raman görüntüleri (1) ve tahmin haritası (2) (Qin ve diğerleri, 2010).....	99
Şekil 20. Hiperspektral görüntüleme için mikroskop sistemi, 1: halojen ışık kaynağı; 2: optik mikroskop; 3: optik kamera; 4: VNIR spektrofotometre; 5: motor bağlanmış tabla; 6: tabla için kontrolör; 7: bilgisayar (Michael ve diğerleri, 2019).....	103

Şekil 21.	2000-2016 yılları arası nüfus ve internet kullanım artışı arasındaki ilişki (Kantar ve diğerleri, 2017).....	129
Şekil 22.	İnternetin dünyada yüzde penetrasyon oranı.....	131
Şekil 23.	Ülkelerin 2016 e-yoğunluk indeksleri.....	133
Şekil 24.	Avrupa’da internet kullanımı (Anonim, 2019).....	134
Şekil 25.	2020’de bireylerin interneti kişisel kullanım amaçları.....	136
Şekil 26.	Kişisel kullanım amacıyla bireylerin İnternet üzerinden sipariş verdiği ya da satın aldığı mal ve hizmet türleri.....	137
Şekil 27.	TÜİK Hanehalkı Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2009-2020 yılları arası internet kullanımı ve e-ticaret istatistikleri dağılımı, 2020.....	138
Şekil 28.	2017-2020 yılları arası dijital bankacılık istatistikleri (Anonim, 2020a).....	140
Şekil 29.	2019-2020 yılları arasında mobil bankacılık kullanan müşteri sayısı (Anonim, 2020a).....	141
Şekil 30.	2010-2017 yılları arası Türkiye’de hizmet veren ATM sayıları (Arslan ve Yavuzaslan 2019).....	142
Şekil 31.	Dünyada 100,000 kişi başına düşen ATM sayıları (Anonim, 2019c).....	142
Şekil 32.	Türkiye’de dijital medya yatırımlarının platform bazında dağılımı (İkiler ve diğerleri, 2020).....	145
Şekil 33.	TÜİK Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2018-2020 yılları arası girişimlerin bulut bilişim kullanımı istatistikleri dağılımı, 2020.....	148
Şekil 34.	TÜİK Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2017-2019 yılları arası girişimlerin 3-D yazıcı kullanımı istatistikleri dağılımı, 2020.....	149
Şekil 35.	TÜİK Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2018-2020 yılları arası girişimlerin robot teknolojisi kullanımı istatistikleri dağılımı, 2020.....	149
Şekil 36.	Türkiye’de BİT sektörünün gelişimini kısıtlayan faktörler (İzmen ve diğerleri, 2020).....	164

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1. Radyo spektrumu.....	12
Çizelge 2. Makine öğrenmesi algoritmaları.....	23
Çizelge 3. Günümüzde kullanılan bazı simülasyon programları.....	25
Çizelge 4. Farklı sektörlerde giyilebilir teknoloji.....	34
Çizelge 5. Sensör üretimlerinde kullanımlarına yönelik çalışmalar.....	60
Çizelge 6. Otomotiv ve ilaç sektörünün yönetsel yetkinlikler bakımından değerlendirilmesi.....	65
Çizelge 7. Teknoloji yoğunluğuna göre imalat sanayi ürünleri dış ticareti.....	69
Çizelge 8. Polonya sermayeli seçilmiş otomotiv şirketlerinin Endüstri 4.0 uygulamasının sonuçları.....	88
Çizelge 9. Bilgisayar görüşü, NIRS (Near-infrared spectroscopy), multispektral görüntüleme, hiperspektral görüntüleme yöntemlerinin karşılaştırılması.....	96
Çizelge 10. Meyve ve sebzelerde fekal kontaminasyonun hiperspektral görüntüleme kullanılarak saptanması.....	97
Çizelge 11. Hasta tavuk karkaslarının Hiperspektral görüntülemeye dayalı Teşhisi.....	98
Çizelge 12. NIR ve HIS kullanılarak bitkisel yağlar, kahve, tahıl, et ürünleri ve balda kimlik doğrulaması çalışmaları.....	100
Çizelge 13. Bitkinin toprakta ihtiyaç duyduğu bileşenler.....	112
Çizelge 14. Farklı gıda matrislerinde farklı segmentasyon algoritmaları ile yapılan çalışmalar.....	114
Çizelge 15. Meyvelerin sınıflandırma ve olgunluk tespiti ile ilgili yapılmış çalışmalar.....	116
Çizelge 16. Meyvelerin sayılması ve verim tahminlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar.....	117
Çizelge 17. Bitki/meyve sağlığının korunması ve hastalıkların saptanması ile ilgili yapılan çalışmalar.....	118
Çizelge 18. Makine görüşüne dayalı tarım robotları ile ilgili çalışmalar.....	121
Çizelge 19. Sağlık sektöründe makine öğrenmesi ve yapay zeka ile ilgili start-uplar.....	126
Çizelge 20. Dünya üzerinde bölgelere göre internet penetrasyonuna dair istatistik.....	130
Çizelge 21. Yapay zeka ve makine öğrenmesine dayanan dünya girişimler...	150
Çizelge 22. Makine öğrenmesine dayanan şirketler ve 2020 yılında topladıkları toplam finansman.....	155

1. GİRİŞ

Dijital dönüşüm ve beraberindeki teknolojilerin, her geçen gün hayatımızda daha büyük bir pay kapladığı herkesin takdiridir. Söz konusu teknolojilerin günlük yaşantımızdaki öneminin yanı sıra, birçok sektörde de farklı uygulamalar ile şirketlerin stratejileri ve faaliyetlerini de etkilediği gözlemlenmektedir. 2020 yılında %3,03 olan Türkiye Dijital Dönüşüm Endeksinin 2021 yılında %3,24'e yükselmiştir (TUBISAD, 2022).

Dijitalleşen iş süreçleri, şirketlerin mevcutta yönettikleri ürün, süreç veya çözümlerini farklı bir boyuta taşımakta, dijital dönüşüm ve alt teknolojileri, faaliyetlerindeki tüm fonksiyonlara adapte edebilen şirketlerin hem maliyet hem kalite hem de zaman boyutlarında rekabette büyük avantajlar elde ettikleri gözlemlenmektedir.

Dijital teknolojileri üretim süreçlerine adapte edebilen şirketler insan müdahalesine gerek duyulmaksızın ürün ve makineler ile etkileşimde bulunarak esnek ve verimli üretim modellerini oluşturmuşlar ve bu gelişme şirketlere büyük faydalar sağlamıştır.

Tarım ve gıda sektörü özelinde bakıldığında dijital dönüşümün ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Küresel ısınma ile birlikte ortaya çıkan zorlu süreçler tarım sektörünü direkt etkilemektedir. Ortaya çıkabilecek senaryoların üstesinden gelebilmek için modern bilişim sistemleri ile entegrasyon yapılması gerekmektedir. Tarımsal üretim, araştırma, geliştirme çalışmaları ile toplanan bilgiler, bu bilgilerin sınıflandırılıp depolanması, bilgilerin uygun algoritmalar oluşturularak ya da araçlar kullanılarak analize alınması, bu işlenmiş verilerin uygun formatta raporlanması ya da yayınlanması işlemleri ancak dijitalleşen alt yapı ile mümkün olmaktadır. Aynı zamanda dijitalleşme gıda sektörü için de oldukça önemlilik arz etmektedir. Akıllı teknolojilerin kullanımı ile insan kaynaklı hatalar minimize edilebilir ve gıda güvenliğini tehdit eden bazı durumlar akıllı kameralar ve makine görüşü gibi teknolojiler ile daha hassas ve objektif olarak çözümlenebilmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı; ülkemizin önde gelen sektör dinamiklerinde bilişim teknolojilerinin bir getirisi olan dijitalleşmenin sektörel bazda verimliliğe, üretim çeşitliliğini yönetmeye, birim maliyete, şirket stratejilerine ve kısaca ticari faaliyetlerine etkileri incelenerek, mevcut uygulamalar, literatür verileriyle yorumlanıp bir öz değerlendirme yapmaktır.

Bu kapsamda tez de Endüstri 4.0 ile şirketlerin hayatına giren ve hemen her sektördeki dinamikleri köklü olarak değiştiren teknolojilere dair genel bilgilendirmeler sunulmuştur. Bununla beraber, söz konusu teknolojilerin gıda ve tarım sektöründen otomotiv endüstrisine, etkisinin çok kolay gözlemlenebildiği bankacılık ve finans sektöründen telekomünikasyon, eğitim ve lojistik endüstrilerine kadar detaylı sektör analizleri ve iyi uygulamalar paylaşılmıştır.

Tezin son bölümünde ise dijital dönüşüm ve uygulamalarının şirketlerin ekonomik ve ticari faaliyetlerine sunduğu katkılar, çıkarımlar ve tartışmalar yer almaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Endüstri 4.0, Önemi ve Dijital Dönüşüm

Tarih insanlığa yön veren dolayısı ile ülkeleri ve şirketleri kendine adapte ettiren 4 büyük endüstriyel devrime sahne olmuştur. Kronolojik süreçte su ve buhar gücünün üretim süreçlerine entegrasyonu ile üretimin mekanizasyonunu içeren 1. Sanayi devrimi, elektrik gücünün kullanımı ile seri üretime başlanmasına denk gelen 2. Sanayi devrimi, elektronik ve bilişim teknolojilerinin üretim sürecine entegre olması ile otomasyonu getiren 3. Sanayi devrimi de adını bu teknolojilerin kullanılması sonrasında almıştır. Fakat 4. Sanayi devrimi olarak anılan Endüstri 4.0'da sanayi devriminin adı henüz icraatleri gerçekleşmeden önce konulmuştur (Nuroğlu ve Nuroğlu, 2018).

Endüstri 4.0 ilk olarak 2011 yılında Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı'nın Hannover fuarında Geleceğin Yüksek Teknolojileri 2020 projesinin bir parçası olarak gündeme gelmiş ve Federal Almanya Ulusal Bilim ve Araştırma Akademisi (Acatech) önderliğinde hazırlanan Endüstri 4.0 Strateji belgesi 2 yıl sonra 2013 yılında yine Hannover fuarında ilan edilmiştir (Anonim, 2016a). Almanya'nın öne sürdüğü Endüstri 4.0 kavramı ile Doğu ülkelerinin ucuz iş gücü avantajı, ileri teknolojiye sahip ülkeler için düşük iş gücü ile daha kaliteli, bireysel üretimin öne çıktığı, verimin yüksek olduğu, hassas üretim yollarının kapısını araladı. Bu şekilde kas gücü gerektiren işlerin robotlara aktarılması ile insanoğlu gün içinde beyin gücünü daha efektif kullanacak, yapay zeka gibi algoritmaların da üretim sürecine entegrasyonu ile üretim sürecindeki otomasyon sağlanacak olması ön görülmüştür. Endüstri 4.0; üretim ve hizmet sistemlerinin tüm aşamalarında dijitalleşme fırsatlarından yararlanılması aşamasında stratejik olarak önemli bir rol oynamaktadır.

Endüstri 4.0 bünyesinde yapay zeka, bulut bilişim, uyarlanabilir robotik, artırılmış gerçeklik, eklemeli üretim (additive manufacturing) ve nesnelerin interneti (IOT) gibi çok sayıda fiziksel ve dijital teknolojinin birleşimini barındırmaktadır.

Endüstriyel dönüşümün temel amacı tetikleyici teknoloji ne olursa olsun, şirketlerin rekabet gücünü artırmak için kaynak verimliliğini sağlamak, üretkenliği ve ürün çeşitliliğini artırmak, optimizasyon ve akıllı üretim teknikleri ile bunlar üretilirken daha

düşük maliyet ile daha kaliteli ürün üretimini organize etmektir (Gunal, 2019). Bu dönüşümün hedefi olarak ise akıllı fabrikaların kurulup, siber-fiziksel sistemler (CPS) in elde edilmesi şeklinde özetlenebilir (Gunal, 2019). Şu an yaşadığımız dönüşüm çağı, sadece ana iş süreçlerindeki değişimi sağlamakla kalmayıp aynı zamanda hizmet odaklı iş modelleri sunarak akıllı ve bağlantılı ürünler kavramlarını ortaya çıkarması bakımından diğerlerinden farklılık göstermektedir.

Akıllı otomasyon olarak anılan Endüstri 4.0'ın farklı tanımlamaları olmakla birlikte teknik olarak mekatronik sistemlerin siber-fiziksel sistemlere evrilmesi şeklinde tanımlanabilir (SCI, 2020).

Üretim, bilişim ve iletişim sektörlerinin sinerjik ortamından doğan nesnelerin internete bağlanması, dijitalleşmesi, bu nesnelerin yapay zeka algoritmaları ile donatılması gibi teknolojileri barındıran ve sistemler sistemi olarak anılan yapı sanayinin dijital dönüşümünde omurga görevi görmektedir.

Dördüncü sanayi devrimi: Endüstri 4.0' ı, yaygın mobil internet, maliyeti azalan ve daha efektif çalışan, fiziksel olarak küçülen, aynı zamanda daha hassas ölçümler yapabilen sensör teknolojileri, yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmaları domine edecektir (Schwab, 2017).

Endüstri 4.0, son yıllarda hem üretici firmalar tarafından hem de hizmet sistemleri bakımından büyük ilgi görmektedir. Bu terimin kesin bir tanımı olmaması ile birlikte doğal olarak gelişen teknolojilerin Endüstri 4.0 dönüşümünü başlatmak gibi kesin bir kullanımı da bulunmamaktadır. Temel olarak Endüstri 4.0 üretim tesisleri, tedarik zincirleri ve hizmet sistemlerinin entegrasyonu ile katma değerli bağlantıların/ağların kurulmasını desteklemektedir. Bu aşamada başarılı bir adaptasyon için büyük veri analitiği, otonom (adaptif) robotlar, siber fiziksel altyapı, simülasyon, yatay ve dikey entegrasyon, endüstriyel internet, bulut sistemleri, eklemeli imalat (additive manufacturing) ve artırılmış gerçeklik gibi ortaya çıkan teknolojiler gereklidir. Burada en önemli nokta, endüstriyel internetin yaygın kullanımı ve farklı cihazların ağa bağlanmasını sağlayan alternatif bağlantılardır. Endüstriyel internet, diğer bir deyiş ile Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (Industrial Internet of Things)'ndeki gelişmelerin bir

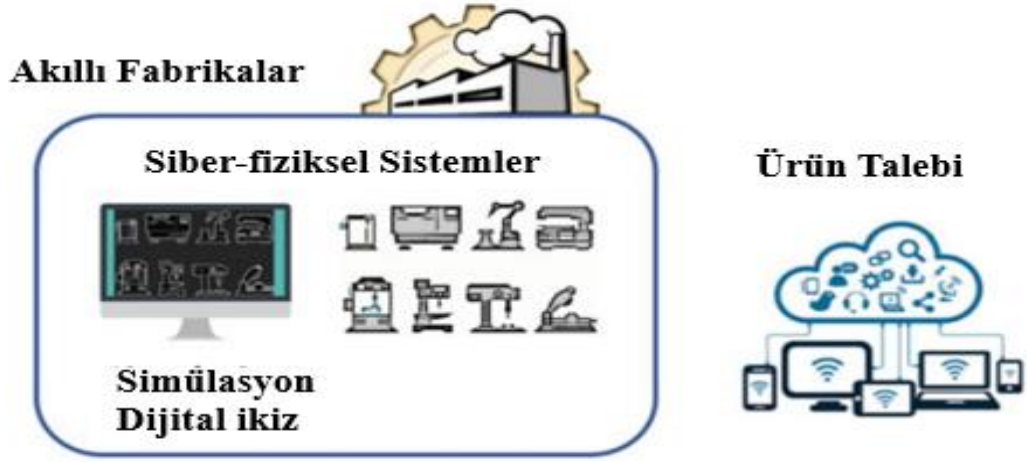
sonucu olarak, kablosuz sensör ağıları, bulut sistemleri, gömülü sistemler, otonom robotlar ve eklemeli üretim gibi dağılmış sistemler birbirine bağlanmıştır.

Üretim ve hizmet süreçleri için eş zamanlı karar verme ve işleri otonom olarak yürütmek için tüm sistemin veri analitiğini ve çeşitli koordinasyon araçlarını içermesi gerekmektedir. Bu sistem, üretim ve hizmet sistemi verilerinin eş zamanlı olarak toplanması için sensörler ağı, eş zamanlı işleme araçları, rol tabanlı ve otonom cihazların entegrasyonunu barındırmaktadır.

Akıllı üretim ve bilişsel üretim olarak da bilinen Endüstri 4.0, üretimde şirketlerin vizyonlarını modernleştirmesine yardımcı olmak için tasarım, üretim, kaynak bulma ve envanter ile ilgili verilerin analiz edilmesi ve kullanılması konularını üstlenmektedir. Endüstri 4.0, Endüstriyel IoT (IIoT) uygulamalarıyla birlikte bilişsel hesaplama tekniklerini kullanır. Birden çok makine, süreç ve sistemden gelen gerçek zamanlı verileri, veri bilimi ve analitik modelleri uygulayıp analiz ettikten sonra üretimi buna göre otomatikleştirir. Günümüze kadar IoT ve IIoT teknolojilerini farklı üretim endüstrileri üretim, dağıtım, transportasyon, hizmet ve bakım gibi üretim süreçlerinde iyileşmeler sağlamak amacıyla kullanmaktadır (Tao ve diğerleri, 2016).

Endüstri 4.0, üretimin eş zamanlı optimize edebilmek için akıllı sensörleri, yapay zekayı ve veri analitiğini birleştirir. Sensör ağ teknolojileri, kablosuz iletişim ve diğer yeni teknolojilerde yaşanacak olan gelişmeler ile birlikte çok daha fazla bağlı nesnelere ya da akıllı objelere IoT sistemine entegre olacaktır.

Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID), Kablosuz sensör ağı (WSN) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri kronolojik sırada gelişmelerine bakıldığında 1980'den başlayarak RFID otomatik tanımlama ve etiketlenmiş nesnelerin izlerinin sürülmesi için elektromanyetik alanı kullanmış, 1990 yılından başlanmak üzere WSN ile akıllı sensör ağları, endüstriyel izleme, sağlık izleme, çevresel saptamalar gerçekleştirilmiş, 2009 yılından günümüze kadar olan süreçte nesnelerin birbirine bağlılığı, her yerde bilgi işlem olanaklarının sağlanması, kendi kendini yapılandırma özelliğine sahip bir ağ altyapısı gerçekleştirilmiştir. IoT ile ilgili olan teknolojiler yeni ICT (bilgi ve iletişim teknolojileri) ve CPS (siber fiziksel sistemler) üzerine büyük bir etkide bulunmuş ve Endüstri 4.0'ın gerçekleşmesine imkan tanımıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Siber-fiziksel sistemler ve Simülasyon (Gunal, 2019)

Günümüzde ise RFID, WSN ve IoT teknolojileri CPS ve ICT'nin desteklenmesinde sağlam teknolojik bir temel oluşturmak için kullanılmaktadır. Sonuç olarak, Endüstri 4.0, fiziksel nesnelere ve siber hesaplama alanı arasında gerçek zamanlı verileri entegre ve senkronize eden yeni nesil üretim sistemleri geliştirme yeteneğine sahip bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır (Xu ve diğerleri, 2018).

2019-2023 yılını kapsayan on birinci Kalkınma Planı kapsamında kimya, ilaç ve tıbbi cihaz, elektronik, makine-elektrikli teçhizat, otomotiv, raylı sistem araçları sektörleri öncelikli sektörler olarak belirlenmiştir. Türkiye'de kimya endüstrisini sabun, deterjan, ilaç, gübre, petrokimya, soda, sentetik elyaf gibi hammadde ve tüketim malzemelerini üreten tesislerin domine ettiği ve firmaların dağılımına bakıldığında önemli bir kısmının küçük ve orta ölçekli işletmeler, daha düşük kısmının ise büyük ölçekli firmalar ve çok uluslu şirketlerin oluşturduğu gözlenmektedir. Ayrıca birçok sektöre ara mal ve hammadde temin eden bir sanayi konumunda olmasından dolayı ülke içi ve ihracat için oldukça önemli bir kalemi oluşturmaktadır. Ülke ihracatının yüzde %10'una katkı yapması ve 300 bin kişilik bir istihdam sağlaması Türkiye'nin kalkınması konusunda kimya sektörünün önemini göstermektedir. Kimya sektörünün 2016-2017 yılı ihracat rakamları incelendiğinde 1 yıl içerisinde %15,2'lik bir artış göstererek ihracat verilerine 16 milyar 115 milyon dolarlık katkısı olduğu görülmektedir. 2019 TUIK verilerince

KOBİ'lerin ihracatın %91,4'ünü imalat sanayi oluşturduğu ve bu orana kimya endüstrinin kimyasal ve kimyasal ürünler başlığı altında %16,8'lik bir pay ile katkıda bulunduğu dikkat çekmektedir (Anonim, 2019f). 2019 yılı TÜİK Sektör Bilançoları raporuna göre ise imalat sektörünün toplam dönem net karı içindeki payının %47,4 olarak gerçekleştiği ve bunun da %9,7'sinin kimyasallar ve kimyasal ürünlerin imalatının katkıda bulunduğu raporlanmıştır (Anonim, 2019i).

2.2. Endüstri 4.0'ın Doğuşunun Nedenleri

Siber-fiziksel sistemler, robotik, nesnelerin interneti, büyük veri ve bulut bilişim gibi Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretim sürecinde uygulama alanı bulması şirketlere büyük faydalar sağlamaktadır. Burada amaç üretim sürecinde insan müdahalesine gerek duyulmaksızın ürün ve makinelerin etkileşimde bulunarak esnek ve verimli üretim modellerini oluşturmalarına imkan verilmesidir (Xu ve diğerleri, 2018; Frank ve diğerleri, 2019).

Endüstri 4.0; yüksek düzeyde dijitalleştirilmiş üretim süreçleri ile üretim hatlarından beslenen anlık veriler eşliğinde merkezi olmayan, gerçeklere dayalı (fact-based) kararların verilmesinde; CPS kullanımı ile birlikte fiziksel dünyanın sanal bir temsilinin sağlanmasında ve canlı olarak izlenen, kendi kendini düzenleyen işlemlere izin verilmesinde; şirketler arası bağlantı kurarak değer zinciri boyunca entegrasyonu desteklenmesinde ve bilgi paylaşımını hızlandıran bir sistemin ortaya çıkmasında önemli roller üstlenmektedir.

2.3. Endüstri 4.0'ı Tetikleyen Teknolojiler

Buhar makinesinin ardından ilk Sanayi Devrimi'nin ortaya çıkmasından bu yana, dijital makineler, otomatik üretim ortamları gibi aşağıdaki köklü değişiklikler ortaya çıkmış ve üretim üzerinde önemli artışları beraberinde getirmiştir. Yaşanan radikal değişikliklerin ana nedenleri ve tetikleyicileri arasında talebin bireyselleşmesi, kaynakların verimli kullanımı ve kısa ürün geliştirme süreleri sıralanabilir. Web 2.0, uygulamalar, akıllı telefonlar, diz üstü bilgisayarlar, 3D yazıcılar gibi teknolojik gelişmeler ülke ekonomilerin gelişmesinde büyük bir potansiyel barındırmaktadır (Salkin ve diğerleri, 2018). Son zamanlarda, Avrupa Birliği'nde, GSYİH'nın yaklaşık %17'si endüstri

tarafından açıklanmakta ve bu da yaklaşık 32 milyon iş fırsatını barındırmaktadır (Qin ve diğerleri, 2016).

Barındırdığı bu potansiyele rağmen, günümüz şirketleri üretkenliği artırmak için geçirecekleri dönüşüm sürecinin farklı karmaşık sistemlerin koordinasyonu ve bağlanmasına yol açan otomatik makinelere ve hizmetlere yol açtığından karar vermelerindeki süre uzamaktadır.

TÜSİAD'a göre (Anonim, 2017f) sanayinin dijital dönüşüm süreci için önemli teknolojiler; yapay zeka ve akıllı sistemler, bulut, büyük veri ve analizi, otonom robotlar, endüstriyel internet, sensörler, eklemeli üretim- 3D yazıcılar, arttırılmış gerçeklik, simülasyon, siber güvenlik teknolojileri olarak sıralanmıştır.

2.3.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Bilindiği üzere günümüzde internet ve uygulamaları insan yaşam tarzının için vazgeçilemez bir araç haline gelmiştir. İnternetin günümüzdeki elzem rolü, talep ve gerekliliği nedeniyle, araştırmacılar kişisel bilgisayarların ağa (web) bağlanmasının ötesine geçmişlerdir (Suresh ve diğerleri , 2014). Bu da nesnelerin interneti kavramının ortaya çıkışını doğurmuştur.

"Nesnelerin İnterneti" terimi, uzamsal olarak dağıtılmış cihazların sisteme yaygın bir şekilde konuşlandırılması yoluyla gömülü tanımlama, algılama ve/veya çalıştırma yetenekleri ile İnternet ve Web'in fiziksel alana genişletilmesiyle ilgili çeşitli yönleri kapsayan bir anahtar kelime olarak kullanılmaktadır (Miorandi ve diğerleri, 2012). Bu teknoloji, dijital ve fiziksel varlıkların uygun bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanılması sonucunda nesnelere birbirine bağlayacak, dahası yepyeni bir uygulama ve hizmet sınıfını mümkün kılacak bir gelecek hazırlayacaktır (Miorandi ve diğerleri, 2012). Bu teknoloji aynı zamanda insanlar – bilgisayarlar – şeyler arasındaki bir bağlantı olarak da özetlenebilir. Söz konusu teknolojiye işlemlerin çoğu sensörler yardımıyla yapılmakta ve bu sensörlerin ihtiyaç duyulan yerlerde konuşlandırılması ile ham fiziksel veriler dijital sinyallere dönüştürülmektedir ve kontrol merkezine iletilmektedir (Watteyne, 2013). Dolayısıyla günlük hayatımızda rutin olarak kullanılan ekipmanların IoT teknolojisi sayesinde tarafımızca kontrol edilip, izlenebilir hale geleceğini söylemek mümkündür.

IoT teknolojisinin ilk zamanlarında terim, birlikte çalışabilen bağlı nesnelerin RFID teknolojisi kullanılarak benzersiz bir şekilde tanımlanabilmesi ile açıklanmaya başlamıştır (Ashton, 2009; Xu ve diğerleri, 2014).

RFID okuyucunun internete bağlanması ile okuyucular, etiketlerle iliştilmiş nesnelere otomatik ve benzersiz bir şekilde eş zamanlı tanımlayabilmekte ve izleyebilmektedir. Sonraları IoT teknolojisi Wi-Fi, Bluetooth, hücresel ağlar ya da NFC (yakın alan iletişimi) teknolojileri üzerinden işlemlerini gerçekleştiren sensör, aktüatörler, GPS (küresel konumlandırma sistemi) sistemleri ve mobil aygıtlar gibi farklı teknolojiler ile birlikte kullanılmaya başlanmıştır. Dolayısı ile IoT teknolojisinin daha geniş bir tanımına bakacak olursak “fiziksel ve sanal "Nesneler" in kimlikleri, fiziksel nitelikleri ve sanal kişilikleri olduğu ve akıllı arayüzler kullandığı ve bilgi ağına sorunsuz bir şekilde entegre edildiği standart ve birlikte çalışabilir iletişim protokollerine dayanan kendi kendini yapılandırma yeteneklerine sahip dinamik bir küresel ağ altyapısı” şeklinde tanımlanabilmektedir (van Kranenburg, 2008).

IoT'nin temeli, sensör, iletişim, ağ oluşturma ve bilgi işleme teknolojilerine dayanan çok sayıda bağlantılı cihazdan oluşan küresel bir ağ altyapısı olarak düşünülebilir (Lu ve Neng, 2010; Xu ve diğerleri, 2014; Mao ve diğerleri, 2016; Liu ve diğerleri, 2017; Xu ve diğerleri, 2018). RFID ve WSN'ler IoT ağındaki en önemli teknolojiler olarak görülmektedir. Bunlardan RFID kablosuz iletişim vasıtası ile mikroçiplere tanımlama bilgilerini aktarmaktadır. RFID okuyucuların kullanılması ile kullanıcılar RFID etiketleri ile etiketlenmiş nesnelere otomatik bir şekilde ayırt edebilmekte, konumsal ya da durumsal olarak izleyebilmektedir. RFID teknolojisi taşıma, paket teslimatları, perakende, savunma, sağlık sektörü, materyal yönetimi gibi farklı endüstrilerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. WSN dediğimiz kablosuz sensör ağları ise birbirine bağlı akıllı sensörler vasıtası ile hedefe yönelik parametrelerin duyulanması, tespiti ve istenen parametrelerin izlenmesine olanak vermektedir. Endüstriyel, ulaşım, çevre, sağlık izlemeleri ve bunun gibi nicelerinde WSN teknolojisi kullanılmaktadır (Li ve diğerleri, 2012; Fan ve diğerleri, 2014; Xu, 2014; Yin ve diğerleri, 2016; Yang ve diğerleri, 2018).

RFID ve WSN teknolojilerine ek olarak IoT teknolojisinin beslendiği diğer teknolojiler; barkod, akıllı telefon, bulut bilişim, konuma bağlı hizmetler, NFC, sosyal ağlar, IPv6,

WiMax, Zigbee, Wi-Fi, Auto ID, ITU IoT, SOA (servis odaklı mimari) olarak sıralanabilir (Xu ve diğeri, 2014).

Günümüzde internet üzerinden iletişimin, kullanıcı - kullanıcı etkileşiminden cihaz - cihaz etkileşimine dönüşmesi ile ev otomasyonu endüstrisi ve ulaşım endüstrilerinin gelişim süreçleri IoT vasıtasıyla ivme kazanmıştır.

2.3.1.1. Nesnelerin İnternetinin Tarihsel Süreci

1989'da internetin doğuşu ile internetteki "Şeyler" (Things) bağlanması yaygın olarak başlamışlardı. Kronolojik sıralama ile gidilecek olursa Trojan Room cezveleri muhtemelen türünün ilk uygulamalarındandır (Gupta ve diğeri, 2010). 1990 yılında John Romkey tarafından üretilen ekmek kızartma makinesi internet üzerinden açılıp kapatılabilmesi ile ilk internet cihazı üretilmiştir (Suresh ve diğeri, 2014). 1997 yılında Paul Saffo, sensörler ve sensör teknolojisinin gelecek eylemleri hakkında ilk kısa açıklamayı yapmıştır (Saffo, 1997). Günümüzde kullandığımız "Nesnelerin İnterneti" terimi ilk kez 1999'da MIT AutoIDCentre'nin yönetici direktörü Kevin Ashton tarafından kullanılmıştır. Aynı yıl içerisinde küresel RFID tabanlı ürün tanımlama sistemi icat edilmiştir (Ashton, 2009). 2000 yılında LG şirketi içerisinde depolanan gıda maddelerinin yenilenip yenilenmediğini kendisinin belirleyebileceği akıllı buzdolabı ortaya çıkarma planlarını duyurması ile IoT'nin ticarileştirilmesinde büyük bir sıçramaya sebep olmuştur (Suresh ve diğeri, 2014). 2003 yılında RFID teknolojisi, Savi programında ABD ordusunda uygulanmıştır. Aynı yıl içerisinde perakende devi Walmart'ın global çapta tüm mağazalarında RFID teknolojisini sistemine dahil etmiştir. 2005 yılında IoT, adını The Guardian, Boston Globe, Scientific American gibi ana akım yayınlarda geçirmeye başlamış ve gelecekteki seyrine dair birçok makaleye atıfta bulunulmuştur. 2008'de bir grup şirket, "akıllı nesnelere" ağlarında İnternet Protokolü'nün (IP) kullanımını teşvik etmek ve Nesnelerin İnterneti kavramının hayata geçmesine olanak tanımak adına IPSO Alliance'ı başlatmıştır. 2011'de IPv6'nın piyasaya sürülmesi ile bu alanda büyük bir büyüme ve ilgi tetiklenmiştir. Günümüze kadar olan süreçte Ericson, IBM, Cisco gibi bilişim teknolojisi ile ilgilenen dev şirketler IoT ile ilgili birçok eğitimsel ve ticari girişimde bulunmuşlardır.

2.3.1.2. Nesnelerin İnterneti için Gerekli Ortamlar

IoT teknolojisi bahsedildiği gibi oldukça geniş kapsamlı bir strateji olup tam teşekküllü uygulama alanından bahsedebilmek için dünya genelinde dağılıma sahip olması gerekmektedir.

Bu teknoloji, geniş çapta kabul gören ve etkili bir çalışma ortamı gerektirmektedir.

Bilindiği üzere internet kablolu iletişim yoluyla yaygınlaşmıştır ve IoT teknolojisinin uygulanmasında kesintisiz iletişim elzemdir. Bu aşamada kablolu iletişim her yerde yapılamayacağından, mobilite sorunları ve kurulum maliyeti gibi dezavantajları ile IoT uygulamalarında RFID, IEEE 802.11, barkod, QR kod, ZigBee IEEE 802.15.4, Bluetooth gibi kablolu iletişime alternatif olan etkili, düşük maliyetli ve basit ortamlar kullanılacaktır.

2.3.1.2.1. RFID Teknolojisi

RFID teknolojisi verilerin iletilmesinde radyo frekanslarını kullanan teknolojiye verilmiş olan isimdir. RFID teknolojisi ile veri aktarımı ilgili noktalara yerleştirilecek RFID etiketleri ve RFID okuyucularının iletişimi vasıtasıyla gerçekleştirilmekte ve bu etiketler de kendi içerisinde dahili güç kaynağı olan aktif etiketler ve dahili güç kaynağı olmayan pasif etiketler olmak üzere 2 kategoriye ayrılmaktadır.

RFID etiketlerinin ufak boyutu ve çevresel koşullardan bağımsız olarak herhangi bir alanda konuşlandırılabilmesi IoT bakımından büyük bir potansiyel barındırdığının göstergelerindedir.

RFID, 135 KHz ile 5 875 GHz frekans bandı arasında LF (düşük frekans), HF (yüksek frekans), UHF (ultra yüksek frekans) ve SHF (süper yüksek frekans) olarak çalışmaktadır (Çizelge 1). Ulaştırma ve lojistik endüstrileri RFID potansiyelini ön gören sektörler arasında olup RFID etiketleri ile araçlarda kazalar gibi olumsuz durumların önlenildiği bildirilmiştir (Suresh ve diğerleri, 2014).

Çizelge 1. Radyo spektrumu

Frekans (MHz)	Açıklama
0,003-0,03	VLF (çok düşük frekans)
0,03-0,3	LF (düşük frekans)
0,3-3	MF (orta frekans)
3-30	HF (yüksek frekans)
30-300	VHF (çok yüksek frekans)
300-3 000	UHF (ultra yüksek frekans)
3 000-30 000	SHF (süper yüksek frekans)
30 000-300 000	EHF (ekstra yüksek frekans)

RFID teknolojisini benimseyen diğer bir sektör ise sağlık sektörü olup bazı uygulamalar ile hastanın kalp atışlarını sürekli izleyerek 7/24 izlenerek destek sağlanması ve düzenli güncellemelerin gönderildiği uygulamalara rastlamak mümkündür. Örneklerden görüldüğü üzere RFID teknolojisi ile günlük hayatımızda yaptığımız birçok etkinlik çok daha basit hale gelecektir.

RFID aktarıcıları, 100 milisaniyeden daha az sürede yanıt vermekte ve bahsedilen özellikleri IoT ortamlarında kullanımı için uygun zemini hazırlamaktadır.

RFID teknolojisinin küresel standartların olmaması, bu teknolojiden yararlanan şirketlerin kendi standartlarını oluşturması ve kullanıcılarına farklı RFID tesislerine geçilmesi bakımından uygunluk problemleri yaratabilmesi (Weis, 2007), sinyaller bakımından sıkışıklığa karşı savunmasız olan elektromanyetik spektrumun kullanılması gibi bazı kusurları mevcut olup bu kusurlar savunma ve sağlık sektörü için felaket ile sonuçlanabilir (Suresh ve diğerleri, 2014). Öte yandan RFID teknolojisi perakende satış noktaları, kampüs ortamları gibi alanlarda süreci ekonomik olarak yönettiği için bu tarz alanlarda uygun bir teknoloji olduğunun da altını çizmekte fayda vardır.

2.3.1.2.2. IEEE 802.11

Yaygın olarak "Wi-Fi" olarak bilinen IEEE 802.11, veri, sinyal, komut ve çok daha fazlasını göndermek/almak için kullanılan, 2.4GHz – 60GHz frekans bandında çalışan, 1Mb/s ile 54Mb/s arasında değişen veri hızlarını destekleyen ve küresel ölçekte kabul edilen bir kablosuz ortam sunmaktadır.

2.4GHz lisanssız bant spektrumu en kalabalık olan frekans aralığı olup bu aralığı kullanan diğer aygıtlar Bluetooth, telsiz telefonlar, mikrodalga fırınlar olarak sıralanabilir.

Günümüz dünyasında Wi-Fi; akıllı telefon, PDA (cep bilgisayar), tablet, dizüstü bilgisayar gibi elektronik cihazlarda bulunan bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bahsi geçen Wi-Fi için WLAN standardı, sınırlı bir mesafede çalışmasını kapsayan alıcı-vericiler üzerinden gerçekleşmektedir (iç mekan menzili yaklaşık 45 m ve dış mekan yaklaşık 90 m). Bu mesafe ve veri aktarım hızı telsiz kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca menzilin artırılması adına ek tekrarlayıcılar (repeaters) ve erişim noktaları da sistem içerisine dahil edilebilmektedir.

Wi-Fi cihazlarının yaygınlaşmasının altında basit ve düşük maliyetli kurulum-bakım ücreti önemli rol oynamıştır. Bu yaygınlaşma sonucu Wi-Fi'nin günümüzde bireysel, toplu; halka açık yerler, hastaneler, üniversiteler, lokantalar ve bunun gibi birçok mekanda olmak üzere kullanımına rastlamamız mümkündür. Bu kapsamda IoT için geleneksel kablolu altyapının kullanılması yerine Wi-Fi kullanımı gerek çevresel kısıtlamalardan muaf olması, gerek bahsedilen maddi avantajları nedeni ile öncelik olmaktadır. Bilindiği üzere IoT tanımına bakıldığında Nesnelerin İnterneti olarak geçen tanımda nesnelere kasıt, hayatımıza her saniye sayısı giderek artan yeni nesnelere ve bunların internet vasıtasıyla birbirlerine bağlanması ve iletişimde olmalarını açıklamaktadır. Tanımdan da anlaşılacağı üzere artan nesnelere birlikte daha fazla nesnenin sisteme eklenmesi gerekmekte ve kablolu ortamlar veya RFID gibi uygulamalar bunu kısıtlamaktadır. Böyle bir senaryoda yeni cihazlar Wi-Fi ile kurulmadan rahatça sisteme eklenebilir ve bu özelliği ile birlikte IoT uygulamaları için bu teknolojiyi biçilmiş kaftan yapmaktadır.

Wi-Fi'nin güvenlik (security), güvenilirlik (reliability) ve birlikte çalışabilirlik (interoperability) sorunları da Wi-Fi teknolojisi ile ilgili endişe kaynaklarını oluşturmaktadır (Lackner, 2013).

2.3.1.2.3. Barkod, QR Kod

Barkod nesnelere üzerine iliştirilen bir sembol olup işlevi nesnelere iliştirilmiş olan bu sembolün bir barkod tarayıcı vasıtasıyla okunup, sisteme uygun yorumlanmasına dayanmaktadır.

Normal şartlar altında manuel toplanacak olan veri, barkod teknolojisi ve barkod tarayıcısı vasıtasıyla - yüksek yoğunlukta değilse uzun mesafelerden tarayabilen ya da yüksek yoğunlukta bölgeye sahip bir alan var ise yakın mesafelerden tarayabilen tipleri mevcut- taranması sonucu çok daha güvenilir ve yüksek doğrulukta, aynı zamanda oldukça hızlı bir şekilde işleme olanak tanımaktadır.

Barkod adı altında geçen bu sembollerin tarihçesine bakıldığında 1970'lere kadar uzandığı görülebilir. Çeşitli perakende satış noktalarında uygulanan otomatik ödeme sistemi sonrasında ün kazanmış olan ve basit bir şekilde uygulanabilen barkod sistemi günümüzde birçok firma tarafından nesnelere tanıyabilmek adına kullanılmaktadır (McCathie, 2004). Zaten bu uygulama basitliği ve teknolojik olarak her hangi bir zorlu gereksinime ihtiyaç duymaması barkod uygulamalarının yaygınlaşmasındaki en önemli faktörlerden olmuştur. Barkod sistemlerinin 2 boyutlu matris gösterimi ise bize QR kod tanımını vermektedir. QR kodlar barkodun verdiği bilgiler ve ürüne ait teknik özellikler bakımından kullanıcıya çok daha fazla bilgi sunmakta olup bu QR kod akıllı telefon gibi kamerası mevcut sistemler ile algılanıp barkodu taşıyan nesne ile ilgili özellikler elde edilebilmektedir. Bu aşamada taranacak barkod etiketlerinin kesinlikle net ve görünür olması gerekmektedir.

Günümüzde kullandığımız lazer, LED ve kamera tabanlı tarayıcıların performanslarının değerlendirilmesi temelde bu teknolojilerin tarama hızı önem arz etmekte, ayrıca barkod üzerinde mevcut kir veya farklı yabancı parçacıklar LoS adı verilen görüş hattı ile ilgili sıkıntılara neden olup performansı olumsuz etkileyebilmektedir.

Barkod ve RFID birbirine benzer sistemler gibi görünse de RFID’de nesne için bilgi tutan bir çip mevcut iken barkod nesne üzerine yapıştırılabilen bir etiket gibidir ve RFID’ye göre barkodun maliyeti ve kurulumu daha ucuzdur.

IoT senaryosu bakımından barkod vasıtasıyla hedef bilgilere ulaşımın daha basit bir hale geleceğinden bahsetmek mümkündür.

2.3.1.2.4. ZigBee

ZigBee, IEEE 802.15.4 – 2003 WPAN standardına dayanan, küçük, düşük güçlü radyolar için bir özellik olup 10 yıldan fazla kullanım alanı bulmuş, fazla bant genişliği gerektirmeyen ev sensörleri gibi düşük güçlü cihazlarda kullanılabilen Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerine alternatif bir teknolojidir (Suresh ve diğerleri, 2014; Tillman, 2021).

Aynı zamanda Wi-Fi’ in düşük güçlü bir versiyonu olarak tanımlanabilmekte ve 2.4GHz, 900MHz ve 868MHz dahil olmak üzere lisanssız bantlarda çalışan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır.

ZigBee cihazının düşük gücü ortamda bulunan diğer ara cihazlardan geçerek uzun bir mesafe üzerinden veri transferini olanak tanıyarak örgüsel bir ağ (mesh network) oluşturulmasını sağlar. Uzun pil gücü, Bluetooth ve Wi-Fi teknolojilerinden ucuz olması (Suresh ve diğerleri, 2014) çok uzun pil ömrüne sahip olması, düşük maliyeti, Bluetooth gibi teknolojilerden daha az karmaşık olması, yüklenmesindeki kolaylık, çok sayıda düğümü desteklemesi sahip olduğu diğer avantajlardandır (Anonim, 2018a).

ZigBee operasyonel giderleri azaltır ve QoS'yi iyileştirir, güvenlik için AES 128 bit şifreleme kullanır. Bu özellikleri nedeni ile sıklıkla ticari ev otomasyonlarında kullanılmaktadır. Güvenilir ve kendi kendini iyileştiren özellikleri de IoT için önemli özelliklerden olup endüstriyel otomasyon, telekom, sağlık hizmetleri, perakende satış mağazaları ZigBee'de ki potansiyeli fark eden sektörlerdendir. Fakat bilinmeyen bir üçüncü aygıtın sistem içerisinde zigbee düğümünü taklit edebilmesi ile sistemdeki verileri toplayabilmesi ve dolayısıyla güvenlik açıkları (Suresh ve diğerleri, 2014), karmaşıklık

seviyesi ve veri hızının düşük olması, yüksek bakım maliyeti, düşük iletim ve düşük ağ kararlılığı gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Anonim, 2018a).

2.3.1.2.5. Bluetooth Teknolojisi

Bluetooth teknolojisi, 2.4GHz ISM bandında çalışan bir kaç metre menzili olan PAN (kişisel alan ağı) için açık bir kablosuz teknolojisi (Chadha ve diğerleri, 2013) olup cep telefonu kullanıcıları arasında büyük rağbet görmektedir.

Bluetooth teknolojisinde “Bluetooth Low Energy (düşük enerji)” ve “Bluetooth Smart (akıllı)” teknolojilerinin geliştirilmesi ile günümüzde kullandığımız giyilebilir aksesuarlardan akıllı saatler, kulaklıklar, gözlükler, telefonlar ve hatta ayakkabılar bilgi transferine olanak tanıyacak şekilde şekillenmiştir. Bu kapsamda IoT senaryolarının bugün gerçeklik oluşturmasında Bluetooth’un rolünün elzem olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bluetooth teknolojisinin tarih sahnesinde 1998 yılında çıkmış ve bu süreçten sonra muazzam ölçüde ilerlemeler kaydetmiştir. Bu teknolojinin yaygınlaşmasında cep telefonları ve bilgisayar donanımları oldukça önemli rol oynamıştır.

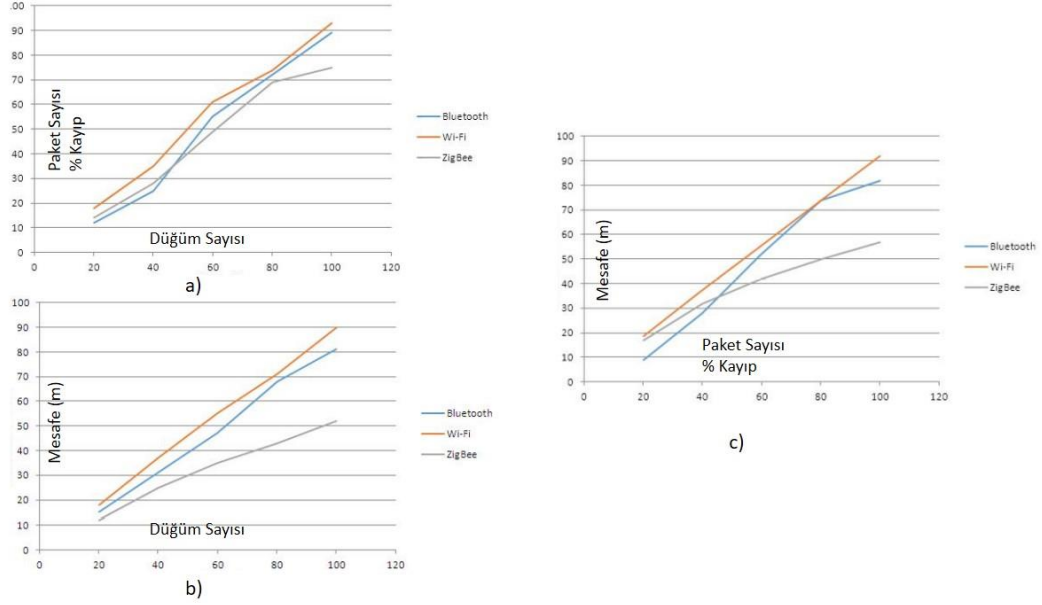
Bluetooth teknolojisinin sunduğu kesintisiz bağlantı, cihazlar arası iletişim IoT uygulamaları bakımından bu teknolojiyi önemli kılmakta ve birçok araştırmacı da Bluetooth’un IoT pazarında trilyon dolarlık bir rol oynayacağına inanmaktadır (Chadha ve diğerleri, 2013).

Piconet, bluetooth teknolojisi protokollerini kullanarak kullanıcıya ait aygıt grubunu birbirine geçici (ad hoc) ağ vasıtasıyla bağlayan, bir ana cihazın yedi adet kadar aktif bağımlı cihazla ara bağlantı kurmasına izin veren, yalnızca 255'e kadar bağımlı cihaza ev sahipliği yapabilen geçici bir ağdır (Anonim, 2021a). Dolayısıyla IoT’ye sahip aygıtların her geçen gün artması ile nesnelerin iletişimi hususunda problemlerin yaşanacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

2.3.1.3. Wi-Fi, Bluetooth ve Zigbee Arasında Performans Karşılaştırılması

Bluetooth, Wi-Fi ve ZigBee ortamlarının performans seviyelerinin araştırıldığı bir çalışmada başlangıç olarak 50 (Bluetooth ve Wi-Fi) ve 12 (ZigBee) düğümden oluşan bir

sistem "Network Simulator -2" kullanılarak simüle edilerek paket kaybı, düğüm sayısı ve düğümler arası mesafeler gibi parametreler irdelenmiştir.



Şekil 2. Bluetooth, Wi-Fi ve ZigBee teknolojileri için performans karşılaştırması
a) Düğüm sayısına göre paket kaybı yüzdesi
b) Düğüm sayısı ve mesafe ilişkisi
c) Düğüm arası mesafeye bağlı olarak % paket kaybı (Suresh ve diğerleri, 2014)

Şekil 2. a durumu için en iyi senaryo ZigBee' de gözlenmiş, düğüm sayısı eşit tutulduğunda Wi-Fi ve Bluetooth'a göre % paket kaybı daha düşük olduğu rapor edilmiş; Şekil 2. b durumunda eşit tutulan düğüm sayılarınca en yüksek kapsama alanı Wi-Fi'da bulunarak bu senaryodaki en yüksek performans Wi-Fi olarak raporlanmış ve Şekil 2. c durumunda düğümler arası mesafeye göre paket kaybındaki değişiklikler gösterilmiş ve bu senaryoda ZigBee'nin, Wi-Fi ve Bluetooth'a göre daha iyi performans gösterdiğinin altı çizilmiştir.

Yapılan çalışmada yazarlar teknolojilerin performanslarının değerlendirilirken sadece bu parametrelere değil aynı zamanda parazit, güç yedekleme vb. gibi parametrelerin de dikkate alınması gerektiğinin altını çizmişlerdir (Suresh ve diğerleri, 2014).

Nesnelerin interneti teknolojisi:

- ✓ Araç park düzenlemelerinin takibi, bir şehrin sebep olduğu kirlilik ve radyasyon seviyesi takibi, binaların sismik titreşimlerinin izlenmesi, atık yönetimi, tedarik zinciri yönetimi, trafik yönetimi, afet kurtarma çalışmaları alanlarına hitap eden akıllı şehir kavramlarında,
- ✓ Akıllı telefon vasıtasıyla komut verilen ekmek kıvartılması, evdeki tüm elektronik cihazların kontrolü, eve gelmeden klimayı açarak odanın serin tutulması, ev ortamının toz, gürültü ve oksijen gibi parametrelerin seviyesinin ölçümü, elektrik, su tüketiminin izlenmesi gibi uygulamaları içeren ev otomasyonuna olanak tanıyan uygulamalarda,
- ✓ Enerji tüketimi izleme ve yönetimini, tedarik zinciri boyunca depolama koşullarının ve ürün takibinin izlenmesi, raflarda ve depolarda ürünlerin rotasyonunun sağlanması, gıda fabrikalarında et kurutma işlemi sırasında ozon seviyelerinin izlenmesi, kurak bölgelerde seçici sulamanın yapılması, hasta ve yaşlıların sağlık durumlarının izlenmesi gibi uygulamalarda,
- ✓ CCTV kameraları aracılığıyla binaların 7/24 gözetim altında tutulması, yüz tanıma sistemleri ile yetkisinin olmadığı yerlere erişim sağlayan insanların tespiti, veri merkezlerinde, depolarda ve hassas bina zeminlerinde kullanılan sızıntı sensörleri ile arıza ve korozyonun önüne geçilmesi, nükleer santrallerin çevresindeki radyasyon sızıntı seviyelerinin ölçülmesi, kimya fabrika çevreleri ve maden ocaklarında gaz seviyelerinin ve kaçakların tespiti gibi güvenlik ve acil durumları içeren uygulamalarda,
- ✓ Titreşimler, darbeler, konteyner açıklıklarının ve soğuk zincirin takibi, büyük depolar, liman gibi yerlerde eşyaların aranması, depolamadaki uyumsuzlukların tespiti, lojistik platformları, filo takibi, motorlu araçlar arasında kablosuz veri iletişimine izin veren araçtan araca iletişim (V2V iletişim) (Anonim, 2014),
- ✓ Araçların bulunduğu ülkenin karayolu sisteminde tepegöz RFID okuyucuları ve kameraları, şerit işaretleri, trafik ışıkları, sokak lambaları, park sayaçları ve tabelalar gibi bileşenleri destekleyip bilgi paylaşımına olanak sağlayan “Araçtan altyapıya” adı verilen V2I sistemi (Anonim, 2017g),

- ✓ Çeşitli cihazlar arasında (genellikle) insan katılımı olmadan internet üzerinden veri alışverişine olanak sağlayan makineden makineye iletişim (M2M) (Anonim, 2019e),
- ✓ Toplu taşıma sisteminin takibi, yollardaki hasarların tespiti, trafik ve yaya yoğunluklarının tahminlenmesi, insan kaynaklı çarpışmalar ve kazaların önüne geçilmesi, seyahat rotasının optimizasyonu gibi lojistik ve taşımacılık sektörü uygulamalarında yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır (Suresh ve diğerleri, 2014).

IoT ile sensörler ve bahsedilen teknolojiler vasıtasıyla birbiri ile etkileşimde, iletişimde olan çevreden, altyapılardan, iş yerlerinden, evimizden ve kendimizden her ortamda veriyi toplayıp, bu büyük veriyi analiz edebiliyoruz. Bu veriler yeni iş kollarının ve üniversite bölümlerinin açılmasına olanak tanımakta ve ivmelenerek üstüne koyan nesnelere interneti yakın zamanda kendinden daha da bahsettirerek zamanında internette olduğu gibi şuan da aktif halde kullanılan nesnelere interneti gelecekte yaşamımıza daha entegre olup vazgeçilemez bir kavram haline gelecektir. Ama bu teknolojiye de her teknolojiye olduğu gibi iyi ellerde iyi, kötü ellerde kötü işlere sebebiyet verebileceği akıllardan çıkarılmamalıdır.

2.3.1.4. Ürün Yaşam Döngüsü Yönetiminde IoT Kullanımı

İmalat endüstrisinde IoT uygulamalarının kullanımı PLM (ürün yaşam döngüsü yönetimi) ürün tanımı, prosesler ve ürün gelişim aşamasındaki tüm kararlar ile ilgili verileri toplanması ve yönetilmesi ile ilgilidir. Ürünler veya parçalar için benzersiz tanımlayıcılar, PLM uygulamalarında önceden tanımlanmış yaşam döngüsü için önemlidir. Bunun nedeni PLM'deki ürünler sadece kuruluş içi değil, aynı zamanda kuruluşlar arası düzeyde, dağıtılmış, mobil ve işbirliğine dayalı bir ortamda bulunmasıdır. Dolayısıyla farklı yaşam döngüsü aşamalarını kapsayan dağıtılmış ve heterojen ürün verilerinin yapılandırılabilir ve esnek bir modelle entegrasyonunu desteklemek önem arz etmektedir. Heterojen verilerin hacminden ve hızla değişen ortamlar nedeniyle, ilgili verilerin değiş tokuşu ve paylaşım amaçları için karışıklığa sebebiyet verebilmektedir.

2.3.1.5. IoT Teknolojisinin Endüstriyel Üretim Sistemleri ile Birleştirilmesi

Bilindiği üzere iş modelleri modüler bileşenler ve bunların etkileşimlerinden oluşmaktadır. Her bir modül için verinin eldesi, iletişim ve karar verme mekanizmaları

elzem konumdadır. Aksiyomatik teoriye dayanan IoT teknolojisi, üretim sistemlerinin her aşamasının planlanması, programlanması ve kontrolü için hayati çözümler sağlayabilecektir.

IoT ortamı platform katmanı, uygulama katmanı ve endüstri çözüm katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. IoT platform katmanı, veri almak ve iletmek için çeşitli cihazları birbirine bağlama ve ardından cihazlardan uygulama katmanına bilgi akışı sağlama görevini üstlenmektedir. Uygulama katmanı, ekipman durumunu değerlendirmekte ve üretime katkıda bulunan dinamik karmaşık faktörleri değerlendirmek için IoT'yi veri analitiği, otomasyon, makine öğrenimi gibi bilişsel tekniklerle bütünleştirmektedir. IoT ağı aracılığıyla toplanan verileri kullanan veri analitiği, zamanında karar vermeyi hızlandırmaya yardımcı olmaktadır. Endüstri çözümleri katmanı, uygulama katmanına alan adı bilgisini eklemektedir (Xu ve diğerleri, 2018).

Bi, Xu ve Wang'ın çalışmasında işletmelerin IoT ile başarılı entegrasyonu için bir takım gereklilikler tartışılmıştır. Bu çalışmada yeni nesil üretim sistemlerinin barındırması gereken özellikler olarak merkezi olmayan karar mekanizmaları ile büyük veri, heterojen çevre, eş zamanlı değişiklikler için çeviklik ve uyarlanabilirlik, yeniden yapılandırılabilir yetenekler gibi başlıkları içeren düz ve dinamik organizasyondan bahsedilmiştir. Üretim uygulamaları için IoT özellikleri kısmında ise entegre RFID ve WSN ağları, dinamikler, bulut bilişim, insan ve nesnelere, sistemin IoT ile birleşimi konuları altında incelenmiştir (Bi ve diğerleri, 2014).

2.3.2. Yapay Zeka

Yapay zeka (AI) teriminden ilk olarak 1956 yılında John McCarthy tarafından Dartmouth konferansında bahsedilmiştir ve terim akıllı makineler veya daha özel olarak akıllı bilgisayar programları yapma bilimi ve mühendisliği olarak tanımlanmıştır. AI teknolojisi, makinelerle öğrenebilmeleri, anlayabilmeleri ve duruma göre tepki verebilmeleri için gerekli hesaplamalı zekayı sağlamaktadır.

Yapay zeka algoritmaları ile donatılmış akıllı sistemler üretim sürecinde çevresel girdileri tanıyarak bunları işler ve algoritmanın sonucuna bağlı olarak karar verme mekanizmasını işletir ve geriye bir çıktı döndürür. Bu çıktı veriye dayalı objektif kararların alınması için

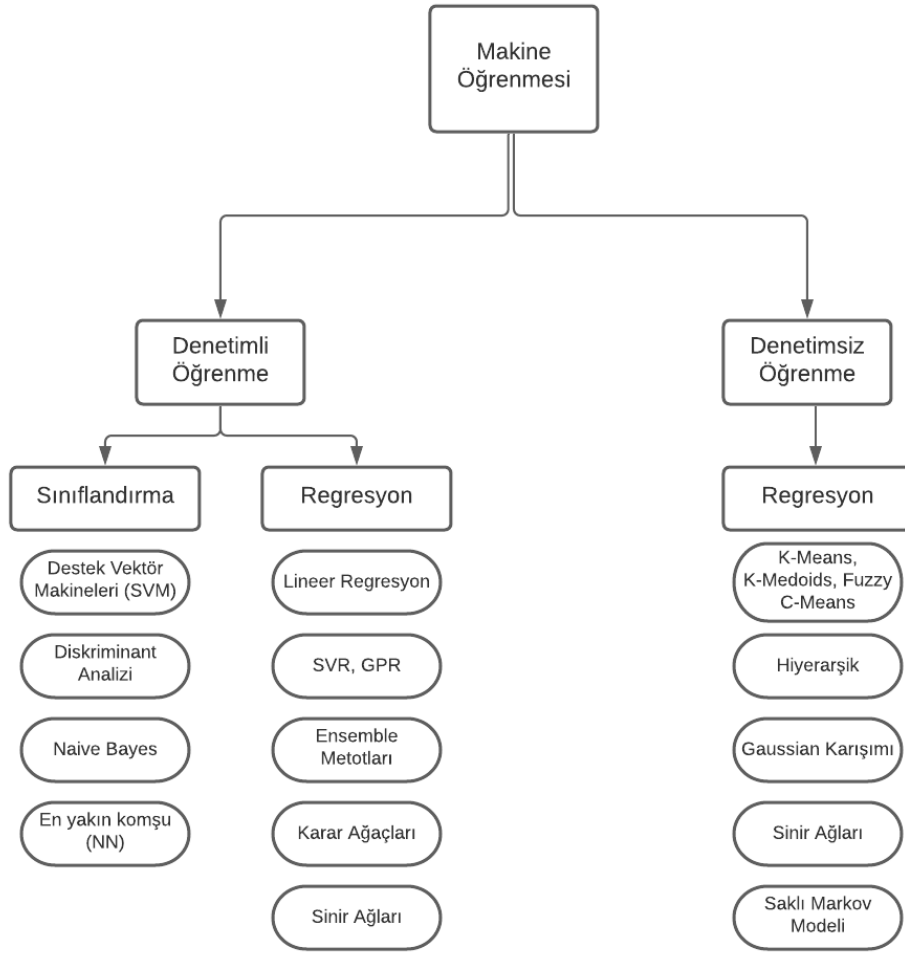
önemli olup insan kaynaklı meydana gelebilecek hatalar gerçekleşmeden engellenebilmektedir. Bunu yaparken makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme, sürü zekası (Swarm Intelligence), uzman sistemler, bulanık mantık (fuzzy logic) ve bilgisayar görüşü gibi yapay zekanın alt alanlarını oluşturan kavramlardan yararlanmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Yapay zeka ve barındırdığı alt teknolojiler (Chethan-Kumar, 2018)

Oracle'ın yaptığı tanımlamalara göre yapay zeka, bilgisayara insan davranışlarının taklidini gerçekleştirmelerini sağlayacak her türlü teknik iken; makine öğrenmesi istenilen çıktının üretilmesi aşamasında herhangi bir programlama yapmadan bilgisayarın öğrenmesine izin tanıyan yapay zeka teknikleridir ve bu kümenin en alt üyesi olan derin öğrenme ise; çok katmanlı sinir ağlarının hesaplanmasını mümkün kılan makine öğrenmesinin alt kümesidir (Anonim, 2021n).

Makine öğrenmesi denetimli ve denetimsiz olmak üzere 2 grupta sınıflandırılabilir (Şekil 4). Bunlardan denetimli öğrenme yöntemlerinde makinenin öğreneceği data sisteme sağlanmakta ve algoritmanın hangi özelliklerden besleneceği seçilmektedir.



Şekil 4. Makine öğrenmesinde öğrenme algoritmaları

Gözetimsiz öğrenmede ise algoritma ham veriye uygulanır ve bu datasetten otomatik olarak makine öğrenmektedir (Akhil ve diğerleri, 2018).

Makine öğrenmesi algoritmaları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Makine öğrenmesi algoritmaları (Sharma ve diğerleri, 2021)

Makine öğrenmesi algoritma adı	Algoritmanın açıklaması
Regresyon algoritması	Regresyon algoritmaları girdi ve çıktı arasında verinin eğitimine dayanan ve girdi verildiğinde eğitilen modelden çıktı tahminlemeye yarayan denetimli/danışmanlı öğrenme algoritmalarıdır
kNN (k- en yakın komşu)	kNN denetimli/danışmanlı sınıflandırma algoritmasıdır. Bu algoritmada ilk olarak etiketlenmiş veriseti çıktılarına göre farklı sınıflara bölünmektedir. Sonrasında yeni bir örnek nesne k-nearest neighbour (k en yakın komşu) mantığına göre belirlenmiş sınıfa atanır.
RF (rassal orman)	Rassal orman bir dizi karar ağacı sınıflandırıcısını birleştiren toplu sınıflandırma modelidir. Yeni bir nesnenin son sınıfı, farklı karar ağaçları sınıflandırıcılarından tahmin edilen çoğunluk sınıfına göre bulunur.
SVM (destek vektör makineleri)	SVM, özellik uzayındaki veri noktaları arasında çok boyutlu sınırlar oluşturan bir sınıflandırma ve regresyon algoritmasıdır. SVM'nin çıktısı, eğitim verileri kullanılarak bölünen sınıflara göre tahmin edilir
RNN (Tekrarlayan sinir ağı)	RNN algoritması nöronların çıkış katmanlarından giriş katmanına geri bildirim içeren ileri beslemeli bir yapay sinir ağı olup bu ağ kendi içinde döngülerden oluşur.
ELM (aşırı öğrenme makineleri)	ELM tek ya da çok nöron katmanı barındırabilen ileri beslemeli bir yapay sinir ağıdır. Yineleme olmaması ve tek bir çalıştırmada parametrelerin ayarlanabiliyor olması gibi özelliklerinden dolayı gerçek zamanlı regresyon ve sınıflandırma problemlerinde öne çıkmaktadır.
MLP NN (çok katmanlı perceptron yapay sinir ağları)	MLP birden fazla nöron katmanına sahip, ileri beslemeli bir sinir ağı olup biyolojik sistemlerden ilham alınarak geliştirilmiştir. Veri seti vasıtasıyla sinaptik ağırlıklar optimize edilerek sinir ağına atanır ve sonrasında genelleme aşamasında kullanılır.
CNN (evrişimli sinir ağları)	Evrişimli sinir ağları en sık kullanılan sinir ağı olarak karşımıza çıkmakta ve ağ katmanlarındaki matris çarpımı yerine ağırlık matematiksel işlem evrişiminin kullanıldığı bir dizi nöron katmanından oluşmaktadır

Sinir bilim ve derin öğrenme modellerinin ilişkisine dair yapılan bir çalışmada derin öğrenme kavramı için deneyimden öğrenmenin nasıl gerçekleştiğine odaklanan ve derin ağları nöral teoriler için kullanılmasına odaklanan sinir bilimcileri destekleyici bir yol haritası sunmuşlardır (Saxe ve diğerleri, 2021).

Günümüzde sağlık hizmetleri, genetik, tarım, finans, robotik, e-ticaret, otomasyon, otomotiv sektörü ve nöroteknoloji yaygın bir şekilde yapay zekayı kullanmakta ve bu teknolojinin gelişiminde büyük rol oynamaktadır. Samsung, Apple ve birçok teknoloji devi şirket, yakın gelecekte üretecekleri her cihazda bu teknolojiden yararlanacaklarını duyurmuştur.

2.3.3. Simülasyon Teknolojisi

Simülasyon teknolojisi, algılanan fiziksel dünya ile sanal dünya arasında anlık veriler vasıtasıyla ilişki kurulmasına ve bir model içerisinde test edilmesine olanak tanımaktadır. Yüksek maliyetli ve tehlikeli test ortamlarını güvenli, kontrol edilebilir koşullar altında, kolay ve ucuz bir şekilde atılan fikrin test edilmesini sağlamaktadır.

Simülasyon teknolojisi imalat sistemlerinin anlaşılması, geliştirilmesi ve süreçlerin optimizasyonu aşamalarında 1950'li yıllardan beri kullanıldığı bilinmektedir. Bu teknoloji ikinci sanayi devrimi esnasında ortaya çıkmış, kullanım ve yaygınlaşma süreci ise 1970'lerin sonu ve 1980'lerin başı üçüncü sanayi devrimi ile başlamıştır. Tarihsel süreçte simülasyon teknolojisini kullanan öncü sektörler otomotiv sektörü ve ağır sanayi idi. Sonrasında simülasyon topluluğu fabrikalar için MRP (Malzeme İhtiyaç Planlama) programlarının geliştirilmesinde ve süreç planlama aşamalarında simülasyon teknolojisinin entegrasyonunu gündeme getirmişlerdir (Gunal, 2019).

80'li yıllardaki bilgisayar grafiklerindeki gelişmeler bu teknolojinin kullanımının yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi için oldukça önemliydi. Bu süreçten sonra simülasyonlar programların vazgeçilmez bir kısmını oluşturmaya başladı (Gunal, 2019).

Fabrika süreçlerine simülasyonun girmesi ile birlikte fabrika yöneticileri ve işçiler gibi paydaşların fabrika temel süreçlerinde yapacakları herhangi bir değişiklik ile sürecin nasıl işleyeceğini gözlemleyebildikleri bir sistem haline dönüştü. Burada animasyonların kullanımı karar verme aracı olarak simülasyonun daha da yaygınlaşmasına neden oldu.

Sonrasında gelişen bilgisayar grafikleri sayılar ile olan simülasyonları ikonik animasyonlar ve ardından 2 boyutlu animasyonlara geçiş yapılmasını sağladı (Gunal, 2019). Simülasyon teknolojisindeki bu geçiş sonrası Windows işletim sistemli kişisel bilgisayarlarda çalışabilen Arena ve Micro Saint isimli ilk 2 boyutlu simülasyon yazılımları piyasaya sürülmüştür (Gunal, 2019).

Günümüzde aşına olduğumuz 2000'li yılların en popüler simülasyon programları arasında CAD (bilgisayar destekli tasarım) ve CAM (Bilgisayar destekli imalat) bulunmaktaydı. Hala bu programlar ile ürün tasarımları gerçekleştirilmekte ve üretimin önemli bir parçası haline gelmiş bulunmaktadır. Bu yazılımların kullanımı ve yaygınlaşması ile birlikte de bir tür kazan-kazan ilişkisi diyebileceğimiz simülasyon teknolojisinin geliştirilmesi de hız kazanmış oldu. İçinde bulunduğumuz dönemde artık 3 boyutlu modellerin kullanılması süreci başlamış ve bu şekilde çok daha gerçekçi görsel materyaller sunulabilmektedir (Gunal, 2019). Günümüzde kullanılan bazı simülasyon programları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Günümüzde kullanılan bazı simülasyon programları (Anonim, 2021k)

Yazılım Adı	Açıklama
HSC Chemistry	Termodinamik ve mineral işleme hesaplamalarını hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirmeye yarayan; süreç ile ilgili araştırma, geliştirme, dizayn ve dijitalleşme konularında temel bir yazılım olup aynı zamanda süreç verimlilikleri, çevresel ayak izi tahminlerinin yapılmasına imkan vermektedir.
OnScale Solve	Bu yazılım ilk Bulut Mühendisliği Simülasyon platformudur. OnScale ile mühendisler bir cihazın çalışma zarfı süresince tüm davranışını yakalayan fiziksel yüksek teknolojili cihazların gerçek Dijital Prototipleri dijital temsillerini oluşturmak için çok sayıda tam 3 boyutlu çoklu fizik simülasyonunu paralel olarak çalıştırabilmektedirler.
FlexSim	Mevcut verilerini doğru tahminlere dönüştüren, güçlü istatistiksel analizleri ve bunların görselleştirilmesini bünyelerinde barındıran simülasyon modelleme yazılımıdır. Kullanıcılarına sanal ortamda olası senaryoları test etmelerine imkan vermektedir.
Unreal Engine	3 boyutlu filmler, kişisel animasyonlar, eğitim simülasyonları, her türlü görselleştirme ve daha fazlasını oluşturmaya yardımcı olan oyun geliştirme paketidir
MATLAB	Daha çok mühendislerin kullandığı; algoritma geliştirilmesi, veri analizi, görselleştirme ve sayısal hesaplama için kullanılan bir yazılımdır.

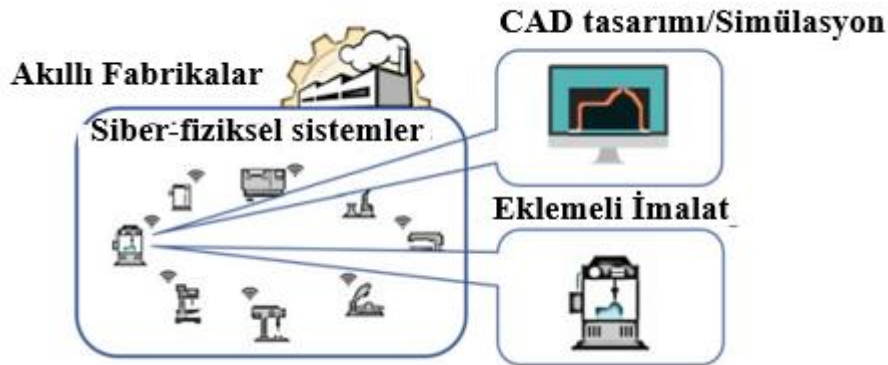
Çizelge 3. Günümüzde kullanılan bazı simülasyon programları (devamı) (Anonim, 2021k)

AnyLogic	AnyLogic; Ayrık Olay, Aracı Tabanlı ve Sistem Dinamiği Simülasyonunu destekleyen tek simülasyon aracı olarak pazarda yerini almıştır.
iGrafx	Dünyanın ilk masaüstü "ya olursa" analizinin gerçekleştirildiği ve simülasyon kapasitesi olan yazılımdır.
Wolfram Mathematica	Makine öğrenimi, veri madenciliği, geometri, görüntü işleme ve görselleştirme gibi alanlarda araçlar sağlayan teknik bilgi işlem sistemi.
Fusion 360	Tasarım ekiplerinin bir araya getirildiği ve ürün geliştirme sürecini tek bir platformda toplayan bulut tabanlı 3 boyutlu CAD/CAM aracı
Ansys SpaceClaim	Geometri problemlerinin çözülmesinde kullanılan bir yazılım
Simio	3 boyutlu modellerin oluşturulabildiği ve hızlı karar verme aşaması için alternatifleri de sunabilen bir yazılımdır.
aPriori	Ürün yaşam döngüsündeki dijital üretim zekası yazılımı
SolidWorks Simulation Premium	İşletmelerin yapısal tasarımları, dinamik yükleme ve kompozit malzemelerin değerlendirilmesi aşamalarında yardımcı simülasyon çözümleri sunmaktadır.
Solid Edge	Her bir parçanın ayrı simülasyonuna imkan tanıyan, montaj analizi ve hesaplamalı akışkan dinamiğini konularında simülasyon çözümleri sunan bir yazılımdır.
Arena	İşletmelere 3 boyutlu modelleme, dinamik modelleme, tasarım analizinde yardımcı olan simülasyon çözümüdür.
COMSOL Multiphysics	Optimizasyon ve verifikasyona izin veren ve fizik tabanlı modelleme sunan simülasyon çözümüdür.
Analytic Solver	Kullanıcıların veri madenciliği, karar ağacı, modelleme oluşturulması ve risk analizi konularında yardımcı simülasyon çözümüdür.
CHEMCAD	Mühendislik yeteneklerini genişleten ve üretkenliği artırmaya yönelik sezgisel kimyasal sürecinin simüle edildiği bir yazılım paketidir.
Minitab Workspace	İş değerlerinin görselleştirilmesi, optimizasyonu, önceliklendirilmesi ve haritalanması aşamalarında problem çözme araçlarını içeren bir yazılımdır.
CONSELF	Web tabanlı CFD ve FEA simülasyon aracı
Simcad Pro	Ayrık Olay, Akıllı Araçlar ve Sürekli Akış için destekleri olan etkileşimli iki ve üç boyutlu modellemeye olanak tanıyan simülasyon yazılımı
HOMER Pro	Rüzgar, hidro enerji, birleşik ısı ve güç, piller, güneş pilleri, biyokütle için dağıtılmış yenilenebilir enerji sistemleri tasarımı ile ilgili bir yazılımdır.
Aras Innovator	İşletmelerin bakım, yapılandırma, kalite ve daha fazlasının ürün yaşam döngüsü içerisinde yönetilebildiği çözümler sunmaktadır.
MapleSim	Model geliştirme süresini kısaltan ve daha hızlı simülasyonlar üreten gelişmiş bir fiziksel modelleme ve simülasyon platformudur.

Kısacası simülasyon teknolojisi üçüncü endüstri devrimi ile büyümüş ve kendini dördüncü endüstri devrimi için hazır hale getirmiştir. Yukarıdaki tarihsel süreçten de anlaşılacağı üzere simülasyon teknolojisi endüstri 4.0 için önemli bir itici gücü oluşturmaktadır.

Simülasyon teknolojisi; sistem dinamiği, ayrık olay simülasyonu, simülasyon optimizasyon yöntemleri, animasyon ve görselleştirme teknikleri, buluşsal algoritmalar, etmen tabanlı simülasyon gibi bir çok tekniği bünyesinde barındırmaktadır. Bu teknikler zaman içerisinde daha da gelişmiş ve farklı versiyonlarına evrilmiştir (Gunal, 2019).

Gunal (2019) bu konuda simülasyon endüstri 4.0 kavramının kalbi olarak yorumlamış ve dijitalleşmenin artması ile bu teknolojinin kendinden daha fazla bahsettireceğinin altını çizmiştir. Genellikle işletmelerde simülasyon teknolojisi eklemeli imalat gibi ilgili diğer teknolojiler ile bir arada kullanılmakta ve birlikte daha etkili çözümler sunabilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Eklemeli imalat ve simülasyon (Gunal, 2019)

Bu teknolojinin kullanım alanının büyük bir kısmını havacılık ve uzay bilimleri domine etmektedir (Tao ve diğerleri, 2018).

2.3.4. Sensör Teknolojisi

Çevresel parametrelerin online olarak sistem tarafına aktarılmasında rol oynayan önemli bir bileşen olarak karşımıza çıkmaktadır. Kesayak (2018) sensörleri makinelerin duyu

organları olarak tanımlamış ve sensör teknolojisinin Endüstri 4.0 için elzem olduğunun altını çizmektedir.

Sensör sistemleri sensör yapısı, üretim teknolojisi ve sinyal işleme algoritmaları etkileşimlerinin bir bütünüdür. Kablosuz sensör ağları kısa mesafeler arası iletişimin gerçekleştirildiği, düşük güçlü sensör düğümlerinden oluşan, düşük maliyetli bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Fei ve diğerleri, 2017).

Pazardaki ürünlerde kalite ve güvenilirlik bakımından artan talepler, pazar rekabet artışları, sektörde otomasyon ve güvenlik arayışı, tüketicilerin konfor talepleri sensör teknolojisinin dahil olduğu yeni uygulamaların gelişmesinde tetikleyici güç olmaktadır. Ayrıca kablosuz iletişim, dijital elektronik ve mikromotor sistem teknolojisinde yaşanan gelişmeler kablosuz sensör ağlarının uygulama alanını her geçen gün daha da yaygınlaştırmaktadır.

Giyilebilir teknolojiler adı altında ekipmanların sensörler ile donatılması da bu teknolojinin gelişiminin ayrı bir göstergesidir (Hinch, 2020).

2.3.4.1. Sensörlerin Özellikleri

Sensör düğümlerinin önceden tasarlanmasına ya da belirlenmesine gerek olmadığından rastgele konuşlanmaya uygundurlar ve sensör ağı içerisinde sensör düğümleri kendi aralarında ortak çalışarak işlevlerini yerine getirirler. Sensör düğümleri ham veri göndermeyip basit hesaplamaları kendi bünyesinde gerçekleştirdikten sonra ileri aşamalar için işlenmesi gerekli verilerin iletimini gerçekleştirmektedirler (Yick ve diğerleri, 2008).

Sensörler için lokasyon bilgisi verilerin yorumlanması bakımından büyük öneme sahiptir. Kablosuz sensörlerin konumlandırma/pozisyonlama çalışmaları sonucunda habitatın izlenmesi, hedef izleme gibi alanlarda kullanım alanı genişlemiş, bu sensörlerin sağladığı verilerin doğru ve anlamlı çıkarımlar yapabilmek için küresel koordinat sisteminin kesin olarak konumlandırılmasını gerekmektedir (Sohrabi ve diğerleri, 2000).

Önceden de bahsedildiği üzere sensör ağlarındaki fazla sayıda bulunan sensör düğümleri, bu sensörlerin dağınık lokasyonlarda konuşlandırılması ve kısıtlı enerjiden dolayı pozisyonlama/konumlandırma algoritmaları büyük talep görmekte ve bu algoritmaların

kendi kendine organize olabilmesi, sağlamlığı, enerji bakımından verimliliği, dağıtılmış hesaplama yetenekleri gibi taşınması gereken bazı özellikler bulunmaktadır (Li ve diğerleri, 2020). Bu özellikleri açarsak:

- ✓ Kendi kendine organize olabilmesi; bazı dış etmenler tek ya da çoklu sensör düğümleri ile alakalı olduğundan sensör düğümleri eklenirken ya da çıkarılırken aralarındaki bağlantının kopartılmamasına dikkat edilmelidir.
- ✓ Sağlamlık; zorlu koşullarda konuşlandırılmış sensörlerin sensör düğümlerinin zor koşullara karşı dayanıklı donanımsal gereklilikleri sağlanmalı ve konumlandırma algoritmalarında belli bir hata tolerans aralığı olmalıdır.
- ✓ Enerji bakımından verimlilik; sensör düğümünün enerjisi sınırlı olmasından dolayı konumlandırma/pozisyonlama işleminde olabildiğince bu tüketimin verimliliği artırılması dolayısıyla enerji tüketiminin sınırlandırılması gerekmektedir.
- ✓ Dağıtılmış hesaplama yetenekleri; her düğüm, taşıdığı bilgiyi ya da konumlandırma/pozisyonlama cihazına göre kendi konumunu hesaplamakta ve yalnızca gerekli verileri diğer düğümlere iletmektedir.

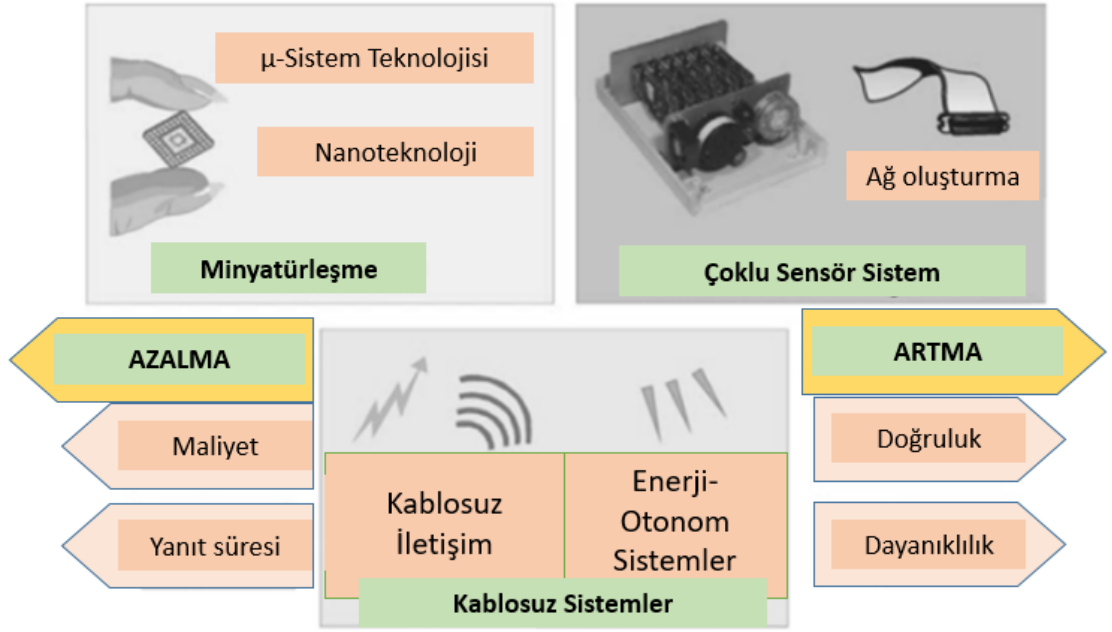
2.3.4.2. Sensör Teknolojisinin Kullanıldığı Alanlar ve Trendler

Sensör teknolojisi sağlık, tıp, otomotiv, tarım ve gıda uygulamaları, robotik, lojistik, askeri, giyim-tekstil, spor, akıllı evler, hizmet gibi birçok sektörde kullanım alanı bulmakta ve giderek bu alanı genişletmektedir.

Müşteri talepleri, uygulamalarda spesifik gerekliliklerin karşılanması, pazarın ekonomik tarafı sensör teknolojisinin gelişimini etkilemektedir.

Gelecekte daha yüksek performansa sahip, gelişmiş sinyal işleme yöntemleri ve yeni üretim teknolojileri daha ucuza mal edilip yüksek doğrulukta ve hızda sensör teknolojilerine ulaşım mümkün olacaktır (Kanoun ve Trankler, 2005).

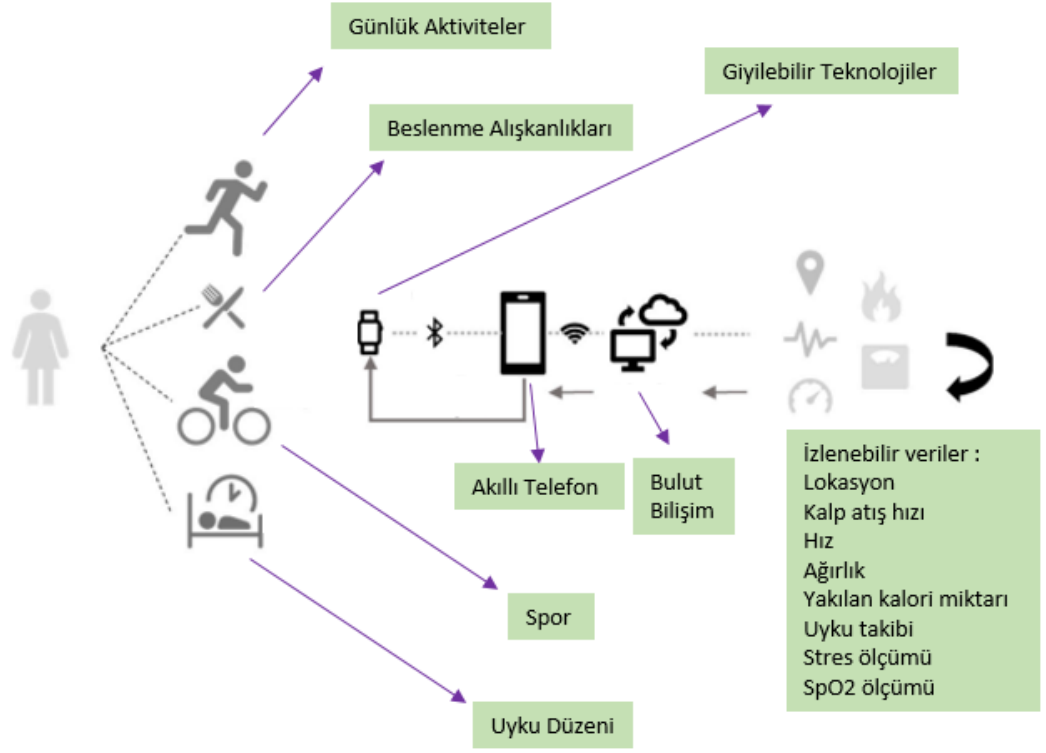
Günümüzde daha dayanıklı, bakıma daha az ihtiyacı olan, düşük elektrik tüketimine sahip, uzun ömürlü sensörlere olan ihtiyaç artmaktadır. Bu kapsamda sensör teknolojisi gelişiminde minyatürleştirme, çoklu sensör kullanımları ve kablosuz sistemlerin gelişimi ile ilgili trendler bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Sensör teknolojisinde trendler (Kanoun ve Trankler, 2005)

2.3.4.2.1. Giyilebilir sensörler (Spor & Sağlık)

Sensör teknolojisindeki gelişimlerden faydalanan sektörlerden bazıları için bu teknoloji elzem iken bazıları için sadece talebe dayalıdır. Elzem olan kısmı genellikle iş alanları ve kişilerin belli bir prosedür ya da güvenlik endişeleri ile ilgili eğitildikleri durumlar ile ilgiliyken (Mardonova ve Choi, 2018) teknolojinin elzem olmayıp talep edildiği durumları genellikle kalori, adım, kalp atışı ve stres durum takibi gibi kişisel kullanımları içermektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Giyilebilir akıllı teknolojilerde verilerin sensörler vasıtasıyla algılanması ile başlayan süreçten uygulama aşamasına kadar uzanan sürecin blok diyagramı

Bu aşamada kişisel ilgi alanı olarak kendi sağlık durumu ve bedensel aktivitelerini izleme durumu bir süre sonra ihtiyaç olarak evrilmiştir (Aroganam ve diğerleri, 2019). Bu kapsamda giyilebilir akıllı ürünler ile ilgili teknoloji algısı, kullanıcının bir parçası olarak giyilebilir, tamamen kontrol edilebilir ve herhangi bir düşünceye ya da çabayı gerektirmeden çalışabilen bir bilgisayardan başlamıştır (Jhajharia ve diğerleri, 2014). Devamında sensör teknolojilerindeki gelişmeler ile birçok sektör pastadan olabildiğince büyük dilimler alabilme yarışına girmişlerdir. Spor sektörü de günümüzde bu sektörlerin en önemlilerinden biridir (Aroganam ve diğerleri, 2019).

Akıllı saat gibi aksesuarların sahip olduğu sensörler vasıtasıyla insanlar vücut ve sağlık durumları ile ilgili verileri geliştirilmiş uygulamalardan izleyerek kendi vücutları ve sağlık durumlarına yönelik bazı çıkarımlarda bulunabilirler.

İnsanların bu teknolojiye önem vermelerini sağlayan önemli bir neden de belirli alandaki yeteneklerini ölçme arzuları ile ilgili olabilmektedir (Creasey, 2014). Gerek

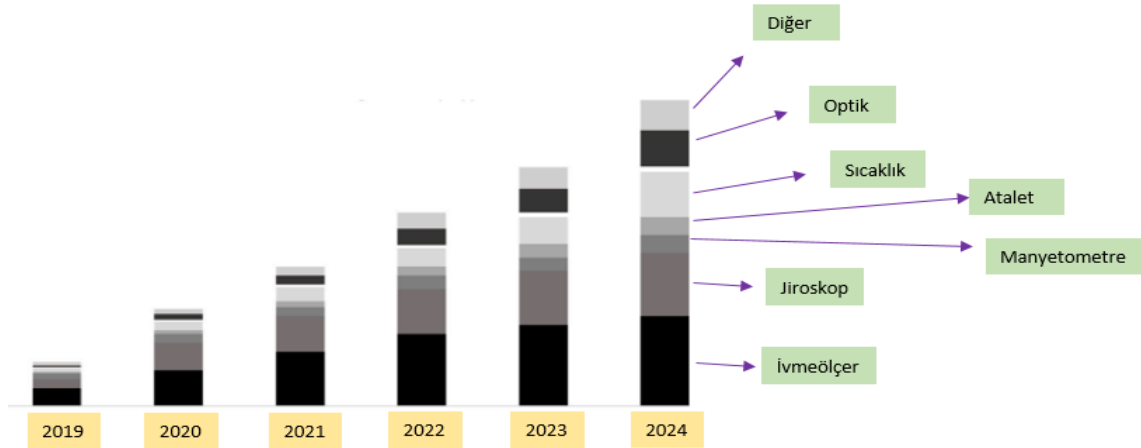
yeteneklerinin ölçülmesi gerekse sağlık verilerinin takip edilmesi olsun bu teknolojinin kullanıcıları kendilerine dair daha fazla veriye sahip olarak yaşam tarzları ile ilgili değişiklikleri kendi kontrolleri altında yapabilirler (Aroganam ve diğerleri, 2019). Bu konuda askeri ve uzay endüstrileri giyilebilir akıllı ürün pazarı üstünde etkileri olan önemli sektörlerdendir (Aroganam ve diğerleri, 2019). Bahsedildiği üzere giyilebilir teknolojilerden sektörlerin faydalanma payına bakıldığında tüketicilerin ve savunma sanayinin öne çıktığını görmekteyiz. Bunları tıp sektörü ve endüstriyel kullanım alanları izlemektedir (Report, 2018). Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçekliğin ortaya çıkması ile giyilebilir teknolojiler ile kombinlenebilen oyun sektörü de giyilebilir akıllı teknolojilerin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Aroganam ve diğerleri, (2019) yaptıkları derlemece farklı endüstrilerde uzun zamandır kullanılan ve geliştirilmeye devam eden GPS, kameralar, işitme yardımcıları, kulaklıklar, termistörler gibi teknolojiler giyilebilir akıllı teknolojilerin birinci basamağını oluşturduğunu; bundan sonraki aşamada ise MEMS adı verilen mikro-elektro-mekanik sensörlerin geliştirilmesi ile sahneye fiziksel olarak giyilebilir akıllı teknolojilerin çıktığını ve bu teknolojinin geleceğe yönelik tahminde ise esneklik, hareket ve akıllı tekstillerin ön planda olduğu bir senaryoya dikkat çekmişlerdir (Ferraro, 2015; Aroganam ve diğerleri, 2019).

Giyilebilir teknolojilerin ergonomik ve antropometrik özellikleri market başarısındaki önemli parametrelerdendir. Tüketicilerin ürünü satın almadan önce, cihazı takarken cihazdan kaynaklı hareket/mobilite kısıtlamalarını bilmeleri elzemdir (Kalantari, 2017). Bu kapsamda tasarımcılar bileğin giyilebilir aksesuarlar için daha uygun ve günümüzde de oldukça popüler olduğuna kanaat getirirken; aksesuarların bilek dışında modüler formlarda, giyimde, gözlük-lens gibi göz ile ilgili kısımlarda taşınabilen formlarda ya da kulak çevresinde kulaklık, küpe gibi taşınabilen formlarda görmek de mümkün olabilmektedir. Ayrıca akıllı tekstil ve gömülü sensöre sahip olan farklı ekipmanlar da kullanıcıların herhangi bir hareketlerinin engellenmemesi ve performanslarını izlemenin mümkün olan en iyi versiyonuna sahip olmalarını sağlayacak şekilde çeşitlenmiştir (Ferraro, 2015; Ebling, 2016; Kamišalić ve diğerleri, 2018). Buna örnek olarak Amerikan futbolu, buz hokeyi gibi sporlarda bileğe takılacak bir aksesuar yerine sensörlerin pedlere yerleştirildiği bir sistem çok daha verimli olacak ve bu sporda hedef bölgeler omuz ve

kafa kısmı olduğundan omuz bölgesi ve kaska yerleştirilen sensörlerin ürettikleri veriler daha anlamlıdır. Dolayısıyla sensörün yerleşimi, amaçlanan işleve göre öncelik verildiğinden tasarım için oldukça önem arz etmektedir (Iqbal ve diğerleri, 2016).

Malzeme teknolojisindeki gelişmeler, esnekliğe dayanıklı sensörlerin üretimleri, iletken iplikler ve giyim eşyaları içerisine gömülü akıllı materyaller ile birlikte artık ekipmanın kendisinin bir sensör olması söz konusu hale gelebilmektedir (Patel ve diğerleri, 2012; Anzaldo, 2015). Giyilebilir akıllı teknolojiler içerisinde sensör teknolojisi mikrodenetleyiciler, ivme ölçerler, jiroskoplar, manyetometre, GPS, kalp atış hızı sensörleri, pedometre, basınç sensörleri gibi alt teknolojilerden beslenmektedir. Şekil 8 ile bu sensörlerinin pazar paylarına ilişkin bir tahminler verilmiştir. Çalışma ileriye yönelik hangi sensörlerin gelişimlerinin rağbette olacağına gösterebilmek adına bir portre çizmekte ve yaptıkları tahminlere göre 2025 sonuna kadar sensörler için pazar büyüklüğünün 2,86 milyar ABD dolarına ulaşacağını öngörmektedirler (Report, 2018).



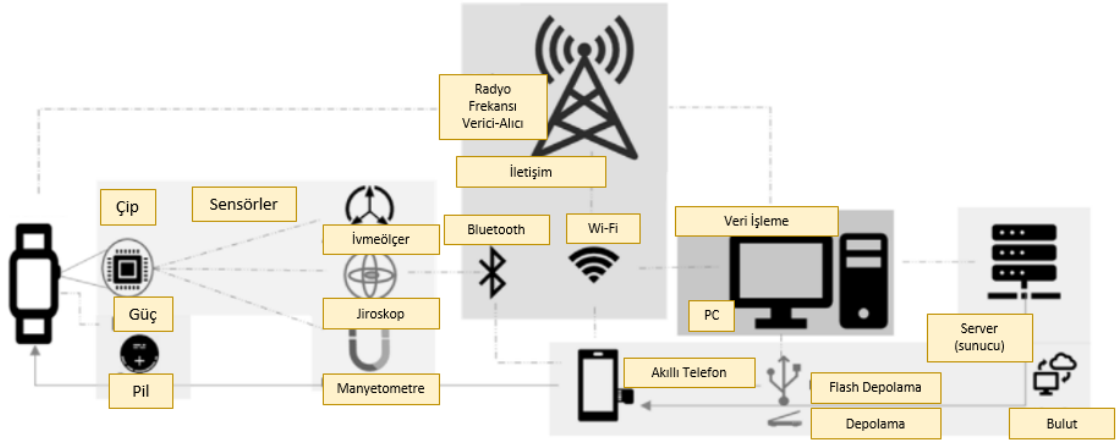
Şekil 8. Sensörler ve pazar payları, Grandview Araştırması'ndan uyarlanan veriler (Report, 2018)

Çizelge 4'de verilen verilere istinaden Vandrico veritabanında anahtar kelime olarak saat ekine sahip 31 adet akıllı saat, band ekine sahip 24 adet akıllı band ve gözlük ekine sahip 11 adet akıllı gözlük çıkmakta ve bunun yanında veri tabanında 400'e yakın farklı kategorilerden ürün bulunmaktadır (Anonim, 2021h).

Çizelge 4. Farklı sektörlerde giyilebilir teknoloji (Aroganam ve diğerleri, 2019; Anonim, 2021h).

Giyilebilir Akıllı Ürün	İvmeölçer	Jiroskop	Kalp Atış Hızı İzleme	GPS	Akıllı Kategori	Uygulama	Vücutta taşındığı bölge	Diğer sensörler
Apple Watch 2	x		x	x	Saat	Yaşam stili	Bilek	Hoparlör
Fitbit	x		x	x	Saat	Fitness	Bilek	Fotodiyot
Nintendo Joycon	x	x			Kumanda (modüler)	Oyun	El	IR sensör, NFC
PlayStation VR	x	x			Göz	Oyun	Kafa	Mikrofon, hopörlör
OM Bra	x		x	x	Giyim	Medikal	Üst vücut	Pedometre
RealWear HMT	x	x		x	Kulak	Endüstriyel	Kafa	Mikrofon, hopörlör, kamera
HexoSkin	x		x		Giyim	Fitness	Üst vücut	Pedometre, ECG sensörü, Termometre, Kamera
Vuzix AR3000	x	x		x	Kafa	Medikal	Kafa	Manyetometre, mikrofon
Google Glass	x	x		x	Göz	Endüstriyel	Kafa	Manyetometre, mikrofon, hoparlör, ışık sensörü, IR sensörü, Kamera
Samsung Gear S3	x	x	x	x	Saat	Yaşam stili	Bilek	Barometre, Işık sensörü

Sensörlerin en yaygın kullanım alanı bulmaya başladığı giyilebilir teknoloji çerçevesine dair blok diyagram örneği Şekil 9’ da verilmiştir.



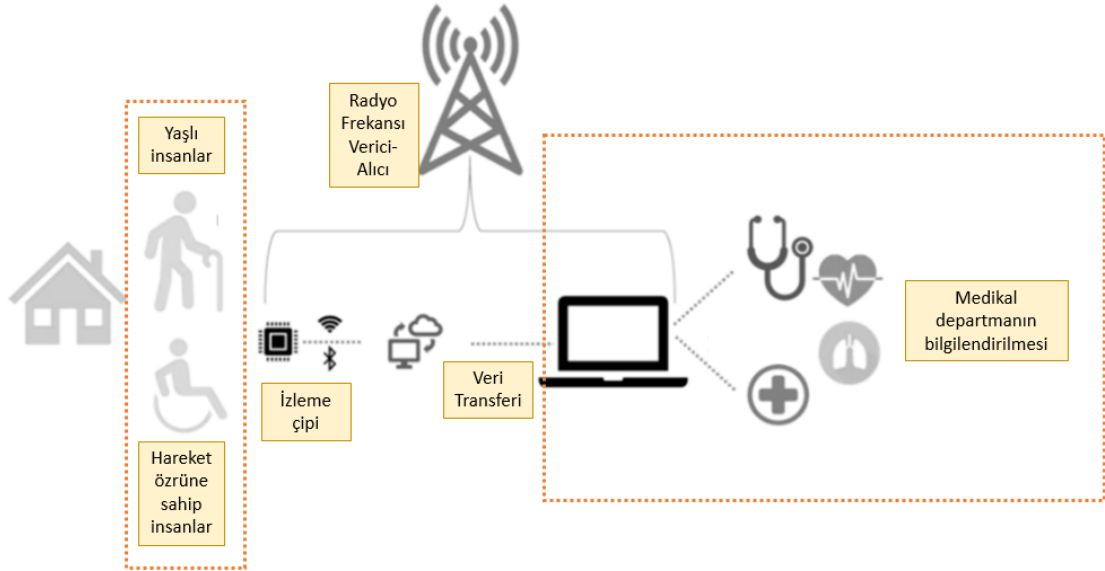
Şekil 9. Giyilebilir teknoloji çerçevesinin (framework) blok diyagram örneği (Aroganam ve diğerleri, 2019)

Kırsal alanlarda yaşayan insanlar için sağlık hizmetlerine erişimin sağlanması, iyi bir doktora görünmesi ya da doktor bulabilmesi aşamaları şehirde yaşayanlara kıyasla çok daha düşük olduğundan, bu kişilerin şehirlere giderek zaman harcamaları gibi durumların hayatlarına fiziksel ve psikolojik açıdan bazı zorluklara sebebiyet vermektedir. Bu aşamada giyilebilir teknolojilerin kişinin sağlık durumu ile ilgili unsurları izlemesini basitleştirebilecek bir sisteme sahip olmasından dolayı kullanıcılarının hayatlarına fiziksel ve psikolojik faydalarını beraberinde getirebilmektedir (Patel ve diğerleri, 2012).

Yaşlılar ve engellilerin giyilebilir teknolojiyi kullanmaları ile hem kendilerinin hem de ailelerinin yaşam biçimini kolaylaştırıcı bir etkisi olacaktır (Mao ve diğerleri, 2017). Gelişen biyosensörler ile uzaktan takip etme, izleme mevzuları bu durumdaki insanlar için alternatif bir çözümü içinde barındırmaktadır (Anonim, 2018d).

Tıp alanında başka bir önemli konu ise bu giyilebilir teknolojilerdeki sensörler vasıtası ile algılanan kalp atış hızı vs. gibi önemli parametreler ile anormal aktiviteler önceden belirlenip hastalar arası öncelik durumları belirlenebilir (Patel ve diğerleri, 2012; Iqbal ve diğerleri, 2016). Bu teknolojilerin kullanımı ile doktor zamandan tasarruf ettiği gibi aynı zamanda sensörler tarafından sağlanan objektif veriler eşliğinde hastası ile daha şeffaf bir iletişime geçmesi ve analizini gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır (Jovanov ve diğerleri, 2005). Tüm bu senaryoların arkasında gün aşırı gelişen biyosensörlerdeki teknoloji rol oynayacaktır.

Yaşlı insanların ve hareket özüne sahip insanlar gibi yardıma muhtaç kişilerin durumları giyilebilir teknoloji vasıtasıyla medikal departmanlar tarafından takip edilebilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Tıbbi anlamda kullanılan giyilebilir teknolojinin iş akış diyagramı (Aroganam ve diğerleri, 2019)

Sporda meydana gelen sakatlanmalar ya aktivite sırasında oluşabilecek ani (öngörülemeyen) kazalardan ya da kas gruplarının aşırı kullanımından kaynaklanmaktadır. Bunlardan aşırı kullanım ile ilgili olan sakatlanmalar vücudun belirli bölgelerinde uygulanan gerilmelere ve yüklerle bağlı olabilen (Edger, 2012), doğru formda ya da doğru olmayan formda tekrarlı yapılan hareketler sonrası kemiklerin, kasların, eklemlerin, tendonların ya da bağların etkilenebildiği (Govus ve diğerleri, 2018), duruma göre minör ya da majör etkileri olan sakatlanmalardır. Genellikle oyuncuların hata yaptıkları zamanlarda hatalarının telafisi için ekstra efor sarfettikleri durumlarda bu tarz sakatlıklar görülmekte, bu anormal durumların izlenmesi ile ya da uyku düzeni ile ilgili olarak zihinsel yorgunlukların bağlantılı olduğu karar mekanizması düzenlenerek (de Arriba-Pérez ve diğerleri, 2016) aşırı kullanımdan dolayı kaynaklanabilecek sakatlıkların önüne geçilebilmektedir (Makhni ve diğerleri, 2018).

2.3.4.2.2. Otomotiv Sektörü ile İlgili Kullanımlar

Otomotiv sektöründe kullanılan sensörlerin boyutlarının küçülmesi ve maliyetlerin düşmesi ile daha ulaşılabilir hale gelmiş ve MEMS teknolojisindeki gelişmeler sonucu sensör performansları iyileştirilmiştir.

Bu sektörde MEMS teknolojisi kullanılarak yanma basıncı sensörleri, ivme sensörleri, sapma oranı sensörleri, optik tarayıcılar geliştirilmiş olup genel hatlarıyla sıcaklık, basınç, açı, hız, açısal hız, pozisyon, ivme, güç, yük, titreşim, ışık, elektrik dalgası, gaz ve ses gibi farklı işlevlerdeki sensörler kullanılmaktadır.

Bahsi geçen optik tarayıcılar aracın otonom sürüşünde, yanma basıncı sensörleri motor kontrolünde, sapma oranı ve ivme sensörleri aracın hızlanma kontrolleri işlevlerinde kullanılmaktadır.

Otomotiv sektöründe kullanılan sensörlerden çoğu fiziksel niceliklerin ölçüldüğü sensörler iken gaz sensörü kimyasal niceliklerin ölçüldüğü bir sensör olarak karşımıza çıkmaktadır (Nonomura, 2020).

Ayrıca bu sensörler veriyi sağladıkları ortama göre sınıflandırılmakta; basınç, açısal hız ve ivme sensörleri aracın içerisindeki veriyi ölçmelerinden dolayı iç (internal) sensörler olarak nitelendirilirken, güneş, radar ve görüş sensörleri dışarıdan veri toplamaları nedeni ile dış (external) sensörler olarak nitelendirilmektedir.

2.3.4.2.3. Robot Üzerinde Kullanımları

Sapma oranı ve ivme sensörlerine sahip atalet kuvveti algılama sistemi, asistan ve ortak robotların ayakta dengede durmasını, yürümesini veya ters dönmesini ve iki tekerlek üzerinde hareket etmesini sağlamış, robotların kullandıkları sensörlerin çeşitliliği sonrası bilgisayar (host), röle (relay) ve sensör düğümlerinden oluşan sinir ağı algılama sistemi geliştirilmiştir. Buradaki sensör düğümü "sinir ağı çipi" adı verilen özel bir entegrasyondur.

2.3.4.2.4. Sensörlerin Akıllı Evlerde Kullanımları

Akıllı ev içerisinde ikamet eden kişilere ihtiyaçları doğrultusunda proaktif servisler sunan teknolojiler ile bezenmiş bir konsepte işaret ederken son zamanlarda, engelli ve yaşlı

bireyler gibi yardıma muhtaç kişilerin bağımsız yaşamlarını destekleyen ya da bu kişilerin bakımlarından sorumlu olan bakıcı (Gentry, 2009) ya da sağlık personelinin iş yükünü hafifleten bir konseptte de referans vermektedir (Ding ve diğerleri, 2011).

Akıllı evler bu servisleri ev sakininin hareketlerinin rutinden ayrılmasına göre sensörler vasıtasıyla izleyerek analiz etmekte ve ev dışı çevresel parametreleri de izleyerek güvenliklerini gözetmektedir.

Akıllı ev konsepti yukarıda bahsedildiği üzere başlangıçta ev sakinlerinin günlük işlerinde kolaylık sağlama, güvenliklerini artırma, enerji tasarrufunu sağlama odaklı geliştirilmiş olsa da sonradan bu konsept yaşlı ve engelli kişiler gibi yardıma muhtaç kişilerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde evrilmiştir (Demiris ve Hensel, 2008; Chan ve diğerleri, 2009; Gentry, 2009).

Günümüzde farklı işlevlere sahip birçok akıllı ev türü bulunmaktadır (Helal ve diğerleri, 2005; Cook, 2006; Kleinberger ve diğerleri, 2007; Yamazaki, 2007; Demiris ve Hensel, 2008; Rantz ve diğerleri, 2008; Chan ve diğerleri, 2009; Gentry, 2009; Intille ve diğerleri, 2010; Nicholas ve diğerleri, 2011)

Akıllı evler; düşük güçlü sensörler, radyo frekansı çipler, gömülü işlemciler ve bunların iletişimini sağlayacak bir ağ ile birlikte ev sakininin durumu, faaliyetleri ve davranışları hakkında elde ettiği verilerin işlenmesi ile çıkarımlar yapmaktadır (Ding ve diğerleri, 2011).

2.3.4.2.4.1. Akıllı Evlerde Kullanılan Sensör Çeşitleri

Doğrudan çevresel algılama kapsamında basit ikili sensörler, video kameralar, RFID, sıcaklık, nem, ışık, barometrik basınç sensörü, pnömatik sensör ve mikrofon gibi birçok sensör tipi kullanılmaktadır.

Akıllı evlerde kullanılan sensör tiplerinden birisi ikili (binary) sisteme dayanan ikili sensörlerdir. Bu sensörler vasıtasıyla basınç sensörleri, hareket tespiti sensörleri ve kontak anahtarları gibi nesne durumunun ve hareketlerinin 1 ve 0 kullanımı ile algılanması mümkün olmaktadır. Hareket detektörleri ve basınç sensörleri genellikle ev sakinin evde bulunup bulunmadığını ya da konumlarının saptanması için kullanılırken

(Yamazaki, 2007; Rantz ve diğeri, 2008; Hong ve diğeri, 2009; Nicholas ve diğeri, 2011) kontak anahtarları genellikle dolap ve cihazların ön kısımları, kapılar, çekmece vs. konuşlandırılıp ev sakinin nesnelere ile spesifik etkileşimlerinin takibi aşamasında yararlanılmaktadır (Majeed ve Brown, 2006; Yamazaki, 2007; Ding ve diğeri, 2011).

Maliyetteki düşüklük, kurulumdaki kolaylık ve gizlilik endişelerinin az olması bu sensörün kullanılmasının avantajlarını oluştururken, soyut düzeyde bilgi vermesi dolayısıyla faaliyetler hakkında çıkarımların sınırlı olma durumu da bu sensörün kullanımının sınırlarını oluşturmaktadır (Hong ve diğeri, 2009; Ding ve diğeri, 2011).

Akıllı evlerde kullanılan diğeri bir sensör ise video kameralardır. Video kameralar bilgisayarların yanında insanların da veri hakkında yorum yapabildikleri zengin veri içeriği sunan, yüksek depolama alanı gerektiren, veri ekstraksiyonu aşamasında teknik anlamda ve mahremiyet konusunda sosyal anlamda olmak üzere bazı zorlukları beraberinde getiren yüksek içerikli sensörlerdir (Caine ve diğeri, 2005; Demiris ve Hensel, 2008; Ding ve diğeri, 2011).

RFID teknolojisi radyo dalgaları vasıtasıyla okuyucu ve elektronik etiket (tag) arasındaki veri değişimine dayanmaktadır. Bu etiketlerin her biri hafızasında belli bir bilgiyi depolamıştır ve RFID okuyucusu tarafından sorgulandığında etiketlerin tuttuğu eşsiz tanımlamaları yanıt olarak sisteme gönderdikten sonra bu bilgiye ulaşım gerçekleşmiş olur. RFID etiketleri pasif ve aktif etiketler olmak üzere genellikle 2 sınıfta incelenmektedir. Bu etiketlerden pasif olanları herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç duymayan ve genellikle kullanıcı-nesne etkileşiminin saptanmasına yönelik olan etiket türünü oluştururken, aktif etiketler pil içermekte ve bu etiketlerin iletişim menzilleri daha uzundur.

RFID teknolojisinin en büyük sınırlaması olarak sıvı ya da metallerin okunması sırasındaki stabilite ve güvenilirlik parametreleridir. Bunun dışında görüşten uzak yerlere yerleştirilip birçok kişinin takip edilebilmesine olanak tanımasından dolayı RFID etiketleri akıllı evlerde sıklıkla kullanılan bir teknoloji olarak yerini almaktadır. Cihazların prize takılma durumlarının incelenemediği ve bunlardan ev sakininin yaşam

tarzına, rutinlerine dair verilerin analiz edildiği SmartPlug sistemi (Elzabadani ve diğerleri, 2005) ve tezgahın altına yerleştirilen RFID okuyucusundan gıda üzerindeki etiketin okutulması ile mikrodalga koşullarını otomatik olarak mikrodalgaya aktaran SmartWave (Russo ve diğerleri, 2017) gibi sistemler akıllı ev sistemlerinde RFID teknolojisinin kullanımına örnek olarak verilebilmektedir.

Otomatik servislerin tetiklenmesi için akıllı evlerde ikili sensörlerden daha fazla ve video kameralardan daha az detaya sahip sensörler bulunmakta ve kullanılmaktadır (Chen ve diğerleri, 2005; Rantz ve diğerleri, 2008; Surie ve diğerleri, 2008; Gaddam ve diğerleri, 2010; Intille ve diğerleri, 2010)

The PlaceLab (Intille ve diğerleri, 2010) ve TigerPlace (Rantz, Skubic, Miller ve Krampe, 2008) akıllı evlerde kullanılan ticari markalardandır. Bunlardan PlaceLab'ın oluşturduğu sistemde iç koşulların izlenebilmesi ve gerekli durumlarda bu parametrelerin ayarlanabilmesi amacı ile 34 sıcaklık, 5 ışık, 10 nem sensörü, ve bir barometrik basınç sensörü konuşlandırılmış; TigerPlace ise uyku anında ev sakininin yataktaki varlığı, hareket, nabız, solunum gibi parametreleri izleyen ve çarşaf altına yerleştirilmiş olan pnömatik şerit sensörü ile donatılmıştır.

2.3.4.2.5. Sensörlerin Askeri Uygulamalarda Kullanımları

Sensör ağları geniş bir alana konuşlandırılmış çoklu sensörler ve iletişimin sağlanacağı bir ağ ile oluşturulan bir sistem olup çevrenin izlenmesi ve gözetimi, güvenlik ve askeri uygulamalarda da iş süreçlerine katkıda bulunmaktadır (Rogers, 2011).

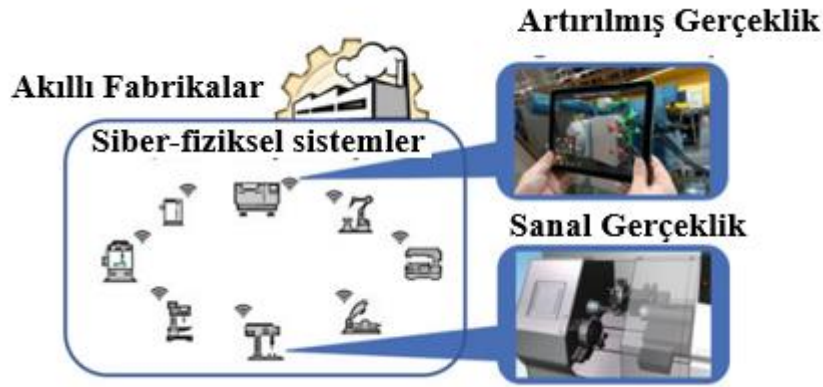
Yeni uygulamalar ve günümüz gereksinimlerine ayak uydurmak üzere sensör sistemlerinin dahil olduğu sistemler ve sensör tasarımlarına her geçen gün daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3.5. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi

Artırılmış gerçeklik (AG), dijital ortamı gerçeğe bütünleştirmeye çalışan bir dizi teknolojiden oluşmaktadır. AG teknolojisi donanımsal olarak ekranlar, giriş cihazları, izleme ve bilgisayarlardan oluşmakta ve kendi içerisinde çeşitli versiyonları ve türleri barındırmaktadır. Bu teknolojinin işleyişi için gereklilikleri kısaca özetlenirse:

- ✓ Kullanıcının hem gerçekliği hem de dijital olarak sağlanan bilgiyi (ekran) algılamasının bir yolu olmalıdır,
- ✓ Akıllı telefon, kablosuz bileklik gibi bir tür işaretleme aygıtı olmalıdır
- ✓ Dijital bilgilerin kullanıcının gördükleriyle (izleme) uygun şekilde örtüştüğünden emin olmanın bir yolu olmalıdır,
- ✓ Gösterinin yönetilmesi için bir bilgisayar yazılımı olmalı.

Bu bileşenlerin organizasyonu ve kullanılışı geliştirilmekte olan uygulamanın türüne göre değişmektedir. Artırılmış gerçeklik ve sanal gerçekliğin işletme içi ilüstrasyonu Şekil 11’ de gösterilmiştir.



Şekil 11. Artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR)(Gunal, 2019)

2.3.5.1. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Tarihsel Süreci

Artırılmış gerçeklik, kullanıcı deneyimini geliştirmek amacıyla gerçek dünyadaki nesnelere veya yerlere üzerindeki dijital bilgileri kapsayan bir teknoloji olup, sanal gerçeklikte olduğu gibi tamamen dijital veya bilgisayar tarafından oluşturulan bir simülasyon ortamının yaratıldığı bir teknoloji değildir. Bu teknoloji, ister coğrafi bir yer ister bir nesne olsun, gerçeklik üzerine bilgisayar tarafından oluşturulan bilgilerin üst üste bindirilmesi sürecinden meydana gelmektedir yani birincil bileşen olarak karşımıza fiziksel gerçeklik çıkmaktadır. Dijital bilgi, kullanıcının deneyimini veya anlayışını geliştirmek için sağlanır, böylece gerçekliği faydalı bilgilerle artırır. Artırılmış gerçeklik uygulamalarının günümüzde gözlemlediğimiz en basit ve en bilinen uygulamaları televizyonda yayınlanan futbol maçlarında görülmektedir.

Gerçekliği ve dijital bilgiyi birleştirme yeteneği ile tıp, müzeler, pazarlama, moda ve diğer birçok alanda kendine uygulama alanı bulmaktadır (Berryman, 2012).

“Artırılmış gerçeklik” teriminin yaratıcıları olarak Tom Caudell ve David Mizell kabul edilir (Carmigniani ve diğerleri, 2010).

1990 yılında Caudell Boeing için çalışmış ve fabrika katında bir uçağın şemalarını görüntüleyerek uçak kablolarını döşeyen işçilere yardımcı olmak için başa takılan bir dijital ekran tasarlamıştır (Vaughan-Nichols, 2009). Ancak artırılmış gerçeklik kavramının kökenleri 1990’dan eskiye dayanmaktadır. 2. Dünya Savaşında, İngiliz ordusunun Mark VIII Havadan Durdurma Radarı Gunsighting projesini (Airborne Interception Radar Gunsighting) geliştirdiği zaman kullanıldığı bilinmektedir.

Söz konusu projede, bir savaş uçağının n camında radar bilgilerini görüntüleyen ve pilotun ilgilendiği diğer şeylerin yanı sıra yakındaki uçakların dost mu ya da düşman mı olduğunun tespitine izin veren bir teknoloji geliştirilmiştir (Vaughan-Nichols, 2009).

1950’li yıllarda görüntü yönetmeni Morton Heilig, sadece görüntü ve sestem oluşan film izleme deneyimini beş duyunun tamamını kapsayacak şekilde tasarlamıştır. 1962 yılında yoğun bir tiyatro deneyimi olarak gördüğü şeyin bir prototipi olan Sensorama’yı kurarak tasarladığı cihaz patent almıştır. alışmaları dijital bilgi işlem çağının öncesine dayandığından, günümüz artırılmış gerçeklik teknolojisinin öncüsü olarak görülmektedir.

1966 yılında Ivan Sutherland, bilgisayara aktarılan verileri gerçeklikle buluşturulması adına başa takılan bir ekran icat etmiştir. Bundan 2 yıl sonra yüksek lisans öğrencileriyle birlikte, başa takılabilir bir ekran vasıtasıyla ilk artırılmış gerçeklik sistemini kurdu. O zamanın koşulları ile bu cihaz bilgisayarlara bağlanan ve başa takılan ekran ile tavana bağlantılarla ile bağlanmış tam bir mekanizmadan oluşan kablolu bir cihazdı. Artırılmış gerçeklik görüldüğü üzere geçmişten itibaren ilgi odağı olmayı sürdürmektedir. Bu kronolojik sraya ek olarak 1970-1980 arasında Armstrong Lab (ABD Hava Kuvvetleri), Ames Araştırma Merkezi (Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi) ve Chapel Hill’deki Kuzey Carolina niversitesi gibi yerlerde de çalışıldığı bilinmektedir.

Artırılmış gerçekliğin terimsel olarak ilk tanımı “gerçekliğin bilgisayar tarafından oluşturulan (sanal) bilgi ile bir kombinasyonu” olarak Ronald Azuma tarafından 1997'de yapılmıştır.

Tarihte ilk artırılmış gerçeklik oyunu olan ARQuake Bruce Thomas tarafından 2000 yılında yapılmıştır. 2005 yılında, Horizon Raporu'nda artırılmış gerçekliğin büyümesi ön görülmüşken 2007 yılına gelindiğinde artırılmış gerçeklik ile ilgili tıbbi uygulamalar geliştirilmektedir.

2008'de, gezginlerin akıllı telefonlarını kullanarak ziyaret ettikleri yerler hakkındaki bilgi toplamalarına olanak tanıyan “Wikitude Artırılmış Gerçeklik Seyahat Rehberi” yayınlanmıştır. Bu rehber gezginlere eş zamanlı bir artırılmış gerçeklik deneyimi sunmuştur.

MIT'den Patti Maes ve Pranav Mistry, yalnızca gerçekliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda neredeyse herhangi bir yüzeyi bilgisayara dönüştürebilen giyilebilir bir cihaz olan Sixth Sense'i geliştirmiş ve bu geliştirilen ürün 2009 yılında TED konferansında gösterilmiştir (Berryman, 2012).

Anlatıldığı üzere, dijital yaşamlarımızın mevcut çevremiz ile birleştirilmesi fonksiyonuna sahip olan artırılmış gerçeklik teknolojisi ile ilgili gelişmeler 1950'li yıllardan günümüze kadar sayısız alanda araştırmaların, araştırmacıların ve geliştiricilerin ilgisini çekmiş, günümüzde de Endüstri 4.0'ın önemli bir bileşeni olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.3.5.2. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Günümüzde Kullanım Alanları

AG teknolojisi kısaca fiziksel dünyamızın sanal ortama imajlar vasıtası ile yansması ve zenginleştirilmesi ile ilgili olup çeşitli sektörlerde kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır.

Bu teknolojinin günümüzdeki kullanım alanlarına bakıldığında karşımıza pazarlama, eğlence, gezi, endüstri, moda, tıp gibi farklı sektörler çıkmaktadır.

Sektörden bazı örnekler vermek gerekirse pazarlama sektörünün yeni ürünleri sergilemek ve potansiyel alıcıları çekme stratejisinde, MINI şirketinin ürettikleri arabaların 3 boyutlu fotoğraflarını sağlamak için reklamcılık stratejisinde, Stella Artois (bira üreticisi)

insanlara akıllı telefon vasıtasıyla kendi barlarını dünya çapında bulmalarında yardımcı olmak için geliştirdikleri “Le Bar Guide” uygulamasında AG teknolojisinden faydalanmaktadır.

Medya, oyun, eğlence ve moda sektöründe de AG teknolojisinin kullanımı geniş alan bulmaktadır. Esquire'ın Kasım 2009 sayısı AG teknolojisi ile ilgilidir.

Oyun sektöründe AG teknolojisi genellikle oyun tahtasına hayat vermek ya da giyilebilir teknolojiler ile kullanıcı deneyimini artırmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Müzelerde, hedef nesne ya da görüntü ile ilgili ek bilgiler AG teknolojisi vasıtası ile kullanıcılarına sağlanmaktadır. Müze örneğinde olduğu gibi gezilerde de AG teknolojisi, hedef lokasyon hakkında ek bilgiler sağlamakta veya kalıntıların dijital rekonstrüksiyonlarını kullanıcılarına sunmaktadır.

İnsanların ayakkabı ve giysi gibi giyilebilir eşyalarının sanal olarak denemelerine imkan sunan uygulamalar da mevcuttur. Cisco'nun "Sihir" adını verdikleri ekranın önünde kıyafetlerin denenmesine olanak tanıyan AG teknolojisi reklamı buna örnek olarak verilebilir (Carmigniani ve diğerleri, 2011).

IKEA'nın place uygulaması arttırılmış gerçeklik teknolojisi için güzel bir örnek olarak verilebilir. Bu uygulama müşterilerin bir ürünü almadan önce evleri/ofisleri için nasıl bir görünüm oluşturduğunu gözlemlmelerine olanak sağlamaktadır (Anonim, 2018c).

AG teknolojisinin sıklıkla kullanıldığı diğer bir alan da sağlık sektörüdür. Günümüzde bu teknoloji cerrahi sırasında hastalara Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI) veya Bilgisayarlı Tomografi (CT) bilgilerini yerleştirmek için görüntüleme teknolojileriyle birlikte kullanılmakta ve cerraha destekleyici bir bilgi kaynağı sağlamaktadır (Feiner 2002). Eklem hareketlerinin görüntülenmesinin iyileştirilmesinde de kullanılmaktadır.

Nöroşirürji, ortopedik cerrahi, kulak burun boğaz, kardiyovasküler cerrahi ve genel cerrahide (Shuhaiber, 2004; Botden ve Jakimowicz, 2009) inme rehabilitasyonunda ve fobiler gibi psikolojik bozuklukların tedavi edilmesinde uygulama alanları mevcuttur (Botella ve diğerleri, 2010; Carmigniani ve diğerleri, 2011).

2.3.5.3. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Uygulanma Zorlukları

AG teknolojisi, konum tabanlı servisler ve akıllı telefonların yaygınlaşması nedeniyle büyük bir kullanım alanı olmasına rağmen yaygınlaşması konusunda bir takım zorluklarda karşı karşıyadır. Bu zorluklardan bazıları teknolojik olarak karmaşık bir hizmet olması, AG teknolojisi için standartların olmamasından dolayı birlikte çalışabilirliğin henüz mümkün olmadığı ve her cihaz ile platformun bireysel geliştirme gerektirmesi (Vaughan-Nichols, 2009), günümüz akıllı telefonlarında kullanılan konum tabanlı servislerin AG teknolojisi için istenen doğruluk seviyesinde cihazın yerinin tespitine olanak tanınamaması, akıllı telefonlarda ve diğer cihazlarda kullanılan GPS sisteminin binalar ve iç mekanlarda engellenebilmesi ya da iyi çalışmaması (Feiner, 2002) gibi maddeler altında sıralanabilir.

Ayrıca uygulanmasında ekranın kim tarafından görülebileceği ve hangi bilgilerin görüntülenebileceği gibi gizlilik sorunları, etik sorunlar ve kullanıcı sorunları gibi teknoloji dışı sorunlar da tüketicilerin kafasını karıştırmaktadır (Berryman, 2012).

2.3.6. Bulut Teknolojisi

Gerek işleme ve depolama teknolojilerinin hızlı gelişimi gerekse internet'in günümüzde yakaladığı başarı sayesinde bilgi işlem kaynakları daha uygun maliyetli, daha güçlü daha erişilebilir hale gelmiştir. Bu trend ile birlikte bulut bilişim adı altında CPU ve depolama gibi kaynaklar kullanıcılar tarafından isteğe bağlı olarak internet üzerinden kiralanabileceği ve istenildiğinde vazgeçilebileceği bir bilgi işlem modeli sunulmuştur. Google, Amazon ve Microsoft gibi büyük şirketler daha güçlü, güvenilir ve düşük maliyetli bulut platformları sağlamaya çalışmalarının yanında ticari kuruluşların da bu yeni paradigmadan faydalanmaları için iş modellerini yeniden şekillendirmeleri konusunda teşvik etmektedirler (Zhang ve diğerleri, 2010).

İnternet erişimi mümkün olan durumlarda kullanıcılara depolama alanı sağlayan bir teknolojidir. Artan eş zamanlı veri üretimine karşı bu verilerin depolanması aşamasında maliyeti düşüren ve aynı zamanda fiziksel hafıza alanına ihtiyaç duymadığı için internet erişimine sahip her yerden veriye ulaşılabilmesi ile kullanıcılara esneklik sağlamış bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Hashem ve diğerleri, 2015). Bulut bilişimi veriye ulaşım, depolama ve işleme teknolojisi olarak tanımlanmaktadır.

Bulut bilişim, işletmelerin kaynaklarını yalnızca hizmet talebinde bir artış olduğunda artırmalarına olanak tanıdığı için özellikle küçük işletme sahipleri için oldukça çekici hale gelmektedir (Zhang ve diğerleri, 2010).

Bulut bilişim birçok endüstri için devrim niteliğinde değişimleri beraberinde getirmektedir. İşletme sahiplerinin bulut bilişim kullanmalarını teşvik edici birkaç özellik aşağıda özetlenmiştir:

- ✓ Ön yatırıma ihtiyaç yoktur
- ✓ İşletme maliyetini düşürür
- ✓ Ölçeklenebilir
- ✓ Kolay erişime imkan tanır
- ✓ İş risklerini ve bakım masraflarını azaltır

Bu kavramlar açılacak olursa, bulut bilişim ile kullanıcılar sadece kendi ihtiyaçlarına uygun şekilde buluttan kaynağı kiralayıp kullanım miktarlarına göre ödeme yaparlar; yani kullanıcılarının faturalandırılma sistemi kullandığın kadarını öde mottosuna dayandığından peşin yatırım gerektirmez ve herhangi bir altyapıya yatırım yapılmasına ihtiyaç yoktur.

Bulut ortamındaki kaynaklar talep üzerine hızla tahsis edilebilir ya da serbest bırakılabilir. Bu şekilde bir hizmet sağlayıcının artık en yüksek yüke göre bir kapasite sağlaması gerekmekte ve işletme maliyetleri düşmektedir.

Altyapı sağlayıcıları, veri merkezlerinden büyük miktarda kaynağı bir araya toplamakta ve bunları şirketlerin ihtiyacı doğrultusunda kolayca erişilebilir hale getirebildiğinden oldukça ölçeklenebilir bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bulutta barındırılan hizmetlerin genellikle web tabanlı olmasından dolayı internete erişimi olan masaüstü, dizüstü bilgisayarlar, cep telefonları ve cep bilgisayarı gibi çeşitli cihazlar bu hizmetlere kolayca erişilebilirler.

Şirketler, hizmet altyapısını bulut teknolojisi ile dış kaynak sağlayarak, donanım arızaları gibi karşımıza çıkabilecek iş risklerini ortadan kaldırabilirler. Ayrıca donanım bakımı ve personel eğitim maliyetlerinden de bu şekilde tasarruf edebilirler.

2.3.6.1. Bulut Bilişim Mimarisi

Google CEO'su Eric Schmidt'in 2006'da internet üzerinden hizmet sağlama iş modelini "Bulut Bilişim" altında tanımlaması ile terim popülerlik kazanmaya başlamıştır. Bulut bilişim ile ilgili NIST bulut bilişimi "minimum yönetim çabası veya hizmet sağlayıcı etkileşimi ile hızlı bir şekilde sağlanabilip-serbest bırakılabilen; paylaşılan yapılandırılabilir bilgi işlem kaynaklarından oluşan bir havuzda uygun ve isteğe bağlı olarak ağ erişiminin sağlandığı bir modeldir" şeklinde tanımlamaktadır (Mell ve Grance, 2021).

Bulut bilişim ile benzerlik gösteren ilgili teknolojiler dağıtımlı hesaplama (grid computing), bilgisayar yardımcı programları (utility computing), sanallaştırma ve otonom hesaplama olarak sıralanabilir.

Bulut bilişim bilgi işlem kaynaklarını bir yardımcı program olarak sağlanması hedefinde sanallaştırma teknolojisinden yararlanır ve dağıtımlı hesaplama ile otonom hesaplama gibi teknolojiler ile belirli yönleri paylaşmaktadır.

Bulut bilişim ortam mimarisini donanım/veri merkezi katmanı, altyapı katmanı, platform katmanı ve uygulama katmanı olmak üzere 4 ana katmana ayırmak mümkündür. Bu katmanlardan donanım katmanı; fiziksel sunucular, anahtarlar, yönlendiriciler, güç ve soğutma sistemleri gibi bulutun fiziksel kaynaklarının yönetildiği katmandır. Bu katman raflarda organize edilen ve anahtarlar (switch), yönlendiriciler veya diğer yapılar aracılığıyla birbirine bağlanan binlerce sunucuyu içeren veri merkezlerinde uygulanmaktadır.

Donanım katmanındaki tipik sorunlar arasında donanım yapılandırması, hata toleransı, trafik yönetimi, güç ve soğutma kaynağı yönetimi yer almaktadır. Fiziksel kaynakların bölümlere ayrılarak bir depolama ve bilgi işlem kaynakları havuzunun oluşturulduğu katman altyapı katmanı ya da sanallaştırma katmanı olarak bilinir. Citrix Hypervisor (Anonim, 2021c), KVM (Anonim, 2021g), Amazon EC2, GoGrid, Flexiscale ve VMware (Anonim, 2021m) gibi sanallaştırma teknolojileri bu katmanın örnekleri arasında sıralanabilir. Ayrıca dinamik kaynak ataması gibi birçok temel özelliği barındırmasından dolayı bulut bilişim için elzem bir katmandır.

Platform katmanı altyapı katmanının üzerine inşa edilir ve işletim sistemleri ile uygulama çerçevelerinden (framework) oluşmaktadır. Bu katmanın amacı, uygulamaların doğrudan VM (sanal makine) konteynırlarına dağıtılmasındaki yükün minimuma indirgenmesidir. Microsoft Azure, Amazon SimpleDB/S3 ve Google AppEngine platform katmanlarına örnek olarak verilebilir.

Hiyerarşinin en üst seviyesinde, uygulama katmanı bulunur. Geleneksel uygulamalar ile karşılaştırıldığında bulut uygulamaları otomatik ölçeklendirme (automatic-scaling) özelliği ile daha iyi performans göstermekte, daha iyi bir kullanılabilirlik sunmakta ve işletme maliyetlerini düşürmektedir.

2.3.6.2. Bulut Bilişim Kullanım Alanları

Bulut bilişimin göze çarpan ve geleneksel hizmet bilişiminden ayrıldığı noktalar paylaşılan kaynak havuzu, coğrafi dağıtım ve her yerde ağ erişimine imkan tanınması, hizmet odaklı oluşu, dinamik kaynak sağlama, kendi kendini organize eder bir sisteme sahip oluşu, yardımcı program tabanlı fiyatlandırma stratejileri olarak sıralanabilir (Zhang ve diğerleri, 2010).

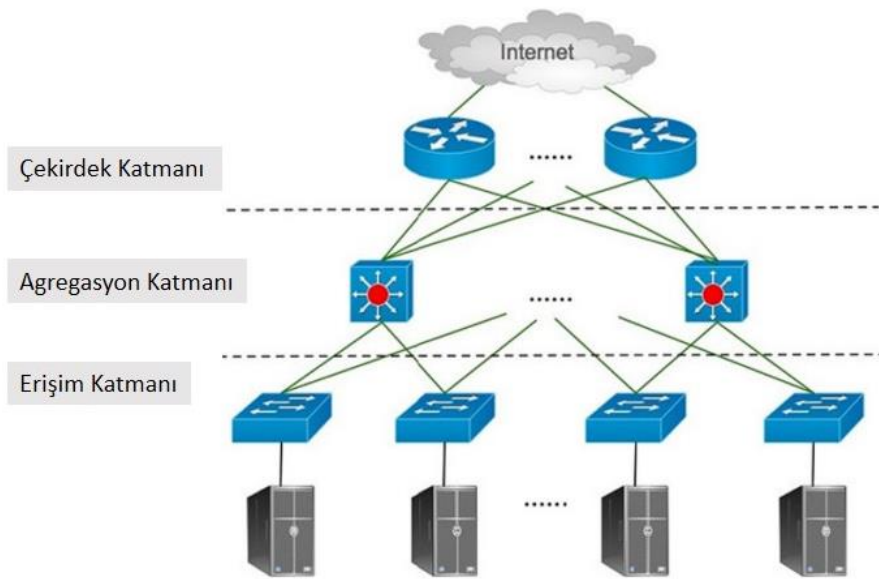
Bulut bilişimde ortamında kullanılan teknolojiler veri merkezleri, bulutlar üzerinde dağıtılmış dosya sistemleri ve uygulama çerçeveleri altında toplanabilir.

Bulut bilişim ortamını gözümüzde canlandırabilmek adına veri merkezlerinin mimari tasarımı, üniform yüksek kapasite, ücretsiz sanal makine migrasyonu, esneklik, ölçeklenebilirlik, geriye dönük uyumluluk gibi bulut bilişim ortamlarında kullanılan teknolojiler ve terminolojiler hakkında bazı kavramların irdelenmesi gerekmektedir.

Sunucular (server), anahtarlar (switch) ve yönlendiriciler (router) gibi binlerce cihazı içeren; hesaplama gücü ve depolama bakımından elzem olan veri merkezleri bulut bilişim için merkezi rol oynamaktadır. Bir veri merkezi temelde çekirdek (core), yığın-kümelenme-agregasyon (aggregation) ve erişim (access) katmanlarından oluşmaktadır (Şekil 12). Bunlardan erişim katmanı fiziksel olarak raflardaki sunucuların ağa bağlandığı yeri temsil etmekte ve bunlar raflardan (rack) oluşur ve raf başına 1 Gbps bağlantısı olan bir erişim anahtarına bağlı 20 ila 40 sunucu barındırmaktadır. Bu aşamada erişim anahtarları genellikle, 10 Gb/sn bağlantılarla iki agregasyon anahtarına bağlanmaktadır.

Agregasyon katmanı domain hizmeti, konum hizmeti, sunucu yük dengeleme ve daha birçok önemli fonksiyonları gerçekleştirmektedir. Çekirdek katman ise birden çok agregasyon anahtarına bağlantı sağlar. Ayrıca tek bir arıza noktası olmayan esnek yönlendirilmiş bir yapıyı da sisteme kazandırır. Çekirdek yönlendiriciler (core routers) ile veri merkezine giren-çıkan trafik yönetilir.

Daha detaylı olarak bir veri merkezi ağ mimarisi için gerekli olan tasarım hedefleri bazı çalışmalara konu olmuştur (Al-Fares ve diğerleri, 2008; Guo ve diğerleri, 2008; Greenberg ve diğerleri, 2009; Guo ve diğerleri, 2009; Mysore ve diğerleri, 2009)



Şekil 12. Veri merkezi ağ altyapısının temel katmanlı tasarımı (Zhang ve diğerleri, 2010)

Sanallaştırma terimi, bir sanal makinenin fiziksel makineden tüm VM durumunun ağ üzerinden aktarımına olanak tanımaktadır. Bulut bilişim içerisinde barındırma hizmeti ile sıkıca bağlı ana bilgisayarlar (tightly coupled) için yüksek bant genişliği eldesi ya da veri merkezinde değişken ısı dağılımı ve güç kullanılabilirliği eldesinde istatistiksel çoğullama (statistical multiplexing) veya dinamik olarak değişen iletişim kalıpları oluşturabilmek adına sanal makinelerin göçü gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla iletişim topolojisinin, hızlı sanal makine geçişini destekleyecek şekilde tasarlanması önem arz etmektedir. Esneklik terminolojisi ise ağ altyapısının, çeşitli sunucu arızaları, bağlantı kesintileri ya da serverların bulunduğu raftaki arızalara karşı hataya dayanıklı olması ile

ilgili olup mevcut tek noktaya ve çok noktaya yayın iletişimleri, temelde fiziksel bağlantının izin verdiği ölçüde etkilenmemesi gerekmektedir. Ölçeklenme terimi ağ altyapısının olabildiğince çok sayıdaki servera ölçeklenebilmesi ile alakalı olup sistemin kademeli genişlemesine izin verilmelidir.

Geriye dönük olarak uyum bulut bilişim için diğer bir önemli konudur. Bu kapsamda ağ altyapısı, Ethernet ve IP çalıştıran anahtarlar ve yönlendiriciler ile geriye dönük uyumlu olmalı ve büyük değişikliklere gerek kalmadan yeni mimaride de kullanılabilir. Geriye dönük olarak uyum bulut bilişim için diğer bir önemli konudur. Bu kapsamda ağ altyapısı, Ethernet ve IP çalıştıran anahtarlar ve yönlendiriciler ile geriye dönük uyumlu olmalı ve büyük değişikliklere gerek kalmadan yeni mimaride de kullanılabilir.

Bulut bilişim ortamında kullanılan diğer önemli teknoloji bulutlar üzerinde dağıtılmış dosya sistemleridir. Bu konuda Google Dosya Sistemi (GFS) (Ghemawat ve diğerleri, 2003), Google tarafından geliştirilen ve büyük ticari sunucu kümelerinin kullanılarak verilere erişimde yüksek verim ve güvenilirlik sağlanacak şekilde tasarlanmış tescilli bir dağıtılmış dosya sistemidir. Geleneksel dosya sistemlerindeki veri aktarım hızına oranla oldukça hızlı veri aktarımına olanak tanıyan GFS, aynı zamanda düşük gecikme süresi sağlamak ve bireysel sunucu arızalarından kurtulmak için veri merkezlerinde çalışacak şekilde tasarlanmış ve optimize edilmiştir.

Bu sistemden ilham almış diğer bir sistem Hadoop Dağıtılmış Dosya Sistemidir (HDFS) (Anonim, 2020c) ve bu dosya sisteminde büyük dosyalar birden çok makinede depolamakta ve bu şekilde riskleri elemine etmekte ve güvenliği artırmaktadır.

Bulut bilişimde kullanılan bir diğer teknoloji ise bulutlar üzerinde dağıtılmış uygulama çerçevesidir. Modern veri merkezi ortamlarında sunucu kümeleri, finansal eğilim analizi veya film animasyonu gibi hesaplamaların ve verinin yoğun olduğu işler için de kullanılmaktadır. Bu uygulamalara MapReduce (Dean ve Ghemawat, 2008) ve Hadoop Map Reduce (Anonim, 2021j) örnek olarak verilebilir.

MapReduce, bir çok bilgisayarın dahil olduğu büyük veri kümelerinde dağıtılmış hesaplamayı desteklemek için Google tarafından sunulan bir yazılım çerçevesidir. Bu uygulama ile talep edilen görev, verilerin depolandığı düğümde barındırılmıyorsa, aynı raftaki düğümlere öncelik verilerek ana omurga üzerindeki ağ trafiği azaltılır ve bu şekilde verimin artırılmasına katkıda bulunur.

Google'ın MapReduce projesinden etkilenen diğerk bir proje de bahsedildiği üzere Hadoop açık kaynak kodlu MapReduce projesi olup şu anda yoğun veri hesaplamalarının yürütüldüğü birçok şirketin bu uygulamayı kullandığı bilinmektedir.

Bulut bilişim ürünleri olarak sektörü domine eden uygulamalara Amazon EC2, Microsoft Windows Azure Platform ve Google App Engine verilebilir.

2.3.7. Büyük Veri ve Analizi

Büyük veri ve analizi ile sensör ya da herhangi bir veri kaynağından alınan eş zamanlı girdilerin uygun algoritmalar kullanılarak üretim süreci, ürün kalitesinin iyileştirilmesi, verimin artması, lojistik maliyetin düşürülmesi, enerji tasarrufu, tüketicinin ihtiyaç ve istekleri ile ilgili verilerden özüt bilgilerin toplanması aşamasında önemli olmaktadır. Bu teknolojiye iyi adapte olan, verileri sürekli izleyip analiz eden, dolayısıyla veri bilimine gerekli değeri veren şirketler sürdürülebilir bir başarıyı yakalayacaktır.

Aynı zamanda KOBİ'lerin de bu teknolojiye iyi adaptasyonları ve teknolojiyi etkin kullanabilmeleri ile rekabetçiliğın artması, KOBİ'lerin iç ve dış piyasada yerlerinin sağlamlaşması ve pozisyonlarının güçlenmesi beklenir (Gür ve diğerkleri, 2017).

2.3.8. Endüstriyel internet

Endüstriyel süreçlerde makine, ürün, insan ve sistemler bütünü birbine eş zamanlı olarak bağlayan ve bu süreçte senkron bir veri transferi ile verilerin analizini yöneten, dolayısıyla sürecin sürekli optimizasyonuna olanak sağlayan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Sanayide dijital dönüşüm için önemi büyük olan nesnelerin interneti (IoT) ve her geçen gün hacmi artan büyük verinin endüstriyel ölçekte işlenmesi için gerekli olan ihtiyaç endüstriyel internet kavramını doğurmuştur (Anonim, 2015d; Boyes ve diğerkleri, 2018). Bu teknoloji ile üretim, lojistik ve tedarik sürecindeki iyileşmeler imalat sanayiinin ulusal ve uluslararası alanda daha rekabetçi pozisyonda konumlanmasına olanak tanımaktadır.

2.3.9. Otonom Robot Teknolojisi

Otomatik işlevleri yerine getirmelerine ek olarak süreci izleyerek öğrenebilen, insanlar ile çalışabilen, iş birliğı yapabilen, iletişim kuran robotları tanımlamaktadır. Bu teknolojiye örnek olarak sürücüsüz araçlar, dronlar ve temizlik robotları verilebilir. Bu

teknoloji ile kalite, ürün ve verimde artış, üretim maliyetlerinin düşmesi, tehlikeli yada uygun olmayan hava koşullarında çalışma imkanı sunabilmesi, yönetimlerdeki kolaylık, esneklik gibi parametreler üzerine fayda sağlanacaktır (Gür ve diğerleri, 2017).

2.3.10. Eklemeli İmalat

Hızlı prototip üretimi, 3 boyutlu baskılar, serbest formlu üretim gibi farklı isimler altında toplanan eklemeli imalat; ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Kurumu) standardı F2792-10'a göre "geleneksel makineyle işleme gibi çıkarmalı üretim metodolojilerinin aksine, malzemelerin 3 boyutlu model verilerinden nesnelere yapmak için genellikle üst üste katmanlar şeklinde birleştirilmesi sürecidir" şeklinde tanımlanmıştır (ASTM, 2012).

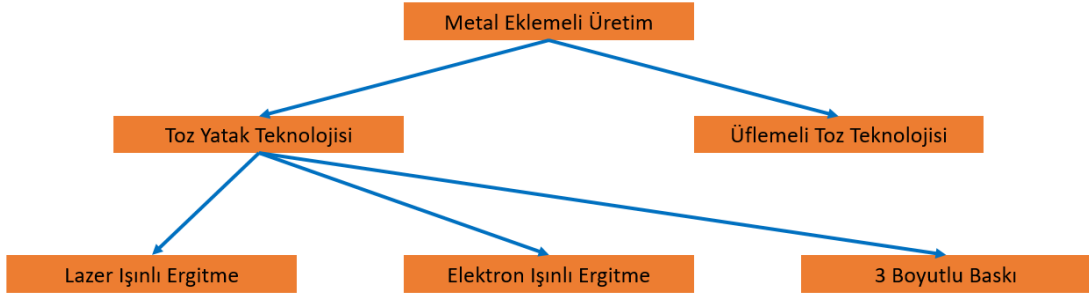
Genel olarak bu teknoloji, operatör tarafından bilgisayar ortamında modellenen nesnelere 3D yazıcılar vasıtasıyla fiziksel ortama dökülmesi şeklinde tanımlanabilmektedir. Başlangıçta yeni ürün prototiplerinin üretilmesi amacı ile geliştirilen eklemeli imalat teknolojisi hızlı prototipleme sürecinden uygulama alanının yaygınlaşması sonucunda nihai kullanım parçalarının direkt üretimleri, tüm ürünün üretimi gibi hızlı imalat sürecinin bir parçası haline gelmiştir (Eyers ve Potter, 2017).

Eklemeli imalatın başarılı uygulamaları birçok çalışma ile kanıtlanırsa da (Eyers ve Dotchev, 2010; Chimento ve diğerleri, 2011; Petrovic ve diğerleri, 2011; Gibson ve diğerleri, 2015; Khajavi ve diğerleri, 2015; Davia-Aracil ve diğerleri, 2016; Khajavi ve diğerleri, 2018) bu teknolojinin sanayi devrimi üzerindeki etkisi henüz yeni yeni tanımlanmakta (Hopkinson, 2006; Berman, 2012) ve bu teknolojinin küresel ölçekte ekonomiye etkisinin 2025'e kadar yıllık 200 ile 600 milyar dolar arasında olacağı öngörülmektedir (Manyika ve diğerleri, 2013).

Günümüzde eklemeli üretimi kullanan sektörler arasında otomotiv, havacılık-uzay, tıp, enerji, aletler ve tüketici ürünleri gibi endüstriyel sektörler yer almakta, bu teknoloji gerek tasarım devrimi gerekse endüstriyel devrim olmak üzere sürece katkıda bulunmaktadır. Bireyselleşen özel ürünlerin üretilebilmesi ve düşük maliyetli olması şirketlerin bu teknolojiyi benimsemelerinde önemli rol oynamaktadır

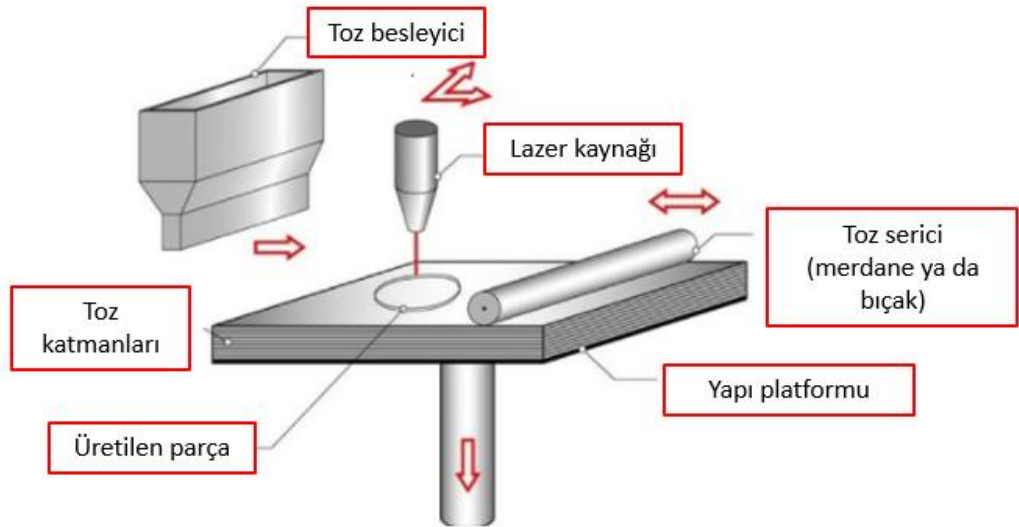
2.3.10.1. Eklemeli İmalat Çeşitleri

Eklemeli imalat metal tozları ile lazerli ergitme yöntemleri kendi içerisinde lazer ışınli ergitme ya da seçici lazerli ergitme, elektron ışınli ergitme, 3 boyutlu baskı, doğrudan enejı biriktirme ya da lazer metal biriktirme gibi farklı teknolojilere ayrılmaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. Metal eklemeli imalat teknolojileri

Toz yatak teknolojisi bir yapım platformu üzerinde bulunan toz katmanının lazer ya da elektron ışını aracılığı ile üst katmanı seçici bir şekilde ergitmesine ve ardından platformun alçaltılması ile yeni aynı işlemlerin son ürün çıktısına kadar tekrarlanmasına dayanmaktadır (Şekil 14).



Şekil 14. Toz yatak teknolojisi üretim prosesi

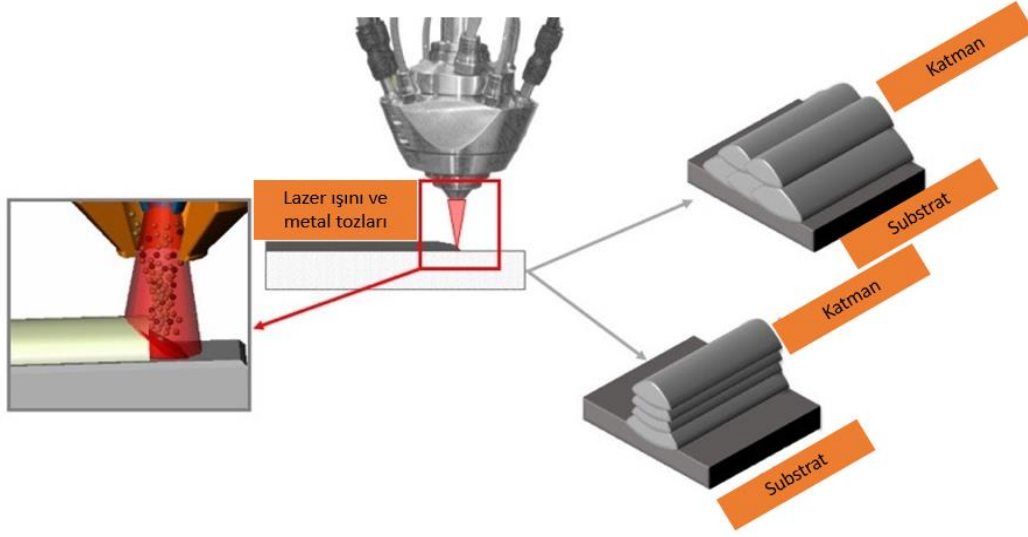
Toz yatak teknolojisine dayanan lazer ışınli ergitme teknolojisi üreticileri arasında Almanya'dan Concept Laser, EOS, Realizer, SLM Solutions, Amerika'dan 3D Systems, Japonya'dan Matsuura, İngiltere'den Renishaw gibi firmalar sayılabilir. Bu toz yataklar ise boyutlarına göre kendi aralarında küçük toz yatağı (genellikle 100 mm çapında), standard toz yatağı (genellikle 250x250x250 mm) ve büyük toz yatağı (1 veya 2 kenarı >500 mm) olarak ayrılmaktadır.

Toz yatak teknolojisi içerisindeki diğeri bir teknoloji elektron ışınli ergitmedir. Bu yöntemdeki elektron ışınını elektromanyetik bobinler üretir ve proses vakum içerisinde yüksek sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Bu teknoloji ile üretilmiş son ürün artık gerilme ve martensitli yapılar içermeyen mikro yapılara sahip olmaktadır.

Toz yatak teknolojisine dayanan diğeri bir teknoloji ise 3 boyutlu baskı olarak isimlendirilmektedir. Bu teknoloji ile yapı platformundaki toz katmanı üzerine toz yazıcı nozülü ile beslenen bir bağlayıcı ile toplanmakta ve bu işlem son ürün eldesine kadar devam etmektedir. Bu teknoloji herhangi bir destek yapısına ihtiyaç duymaz. Ayrıca lazer ışınli ergitmeye oranla daha verimlidir. Farklı son işlem yöntemleri ile kombinlenmesi sonucunda çok daha iyi bir yüzey kalitesini de beraberinde getirmektedir. Bu teknoloji üreticileri arasında İsveç'den Digital Metal ve ABD'den ExOne şirketleri örnek olarak verilebilir.

Eklemeli imalat teknolojisinin kullandığı bir başka yöntem ise doğrudan enerji yada lazer metal biriktirme yöntemidir. Bu yöntem ile çok eksenli bir kol üzerinde bulunan bir nozül vasıtasıyla ergimiş madde yüzeyde biriktirilmekte ve biriken bu madde yüzeyde sertleşmektedir (Şekil 15). Diğeri teknolojilerden seçici lazerli ergitme ile karşılaştırıldığında daha yüksek verimlilik ve boyut olarak daha büyük son ürünlerin eldesine imkan tanımaktadır. Yeni topolojik özelliklere imkan tanınması, dökümde olduğu gibi iyi bir metalurjik kalite sunması, geleneksel yöntemler ile mümkün olmayan onarımlara imkan vermesi, az malzeme kaybı, son ürün boyutunda sınırın olmaması, mevcut parçalara aynı ya da farklı malzeme kullanılarak yeni fonksiyonlar eklenebilmesi bu teknolojinin avantajlarını oluşturmaktadır. Tasarım serbestliğindeki sınırlama ise bu teknolojinin dezavantajını oluşturmaktadır.

Doğrudan enerji ya da lazer metal biriktirme teknolojisi üreticileri arasında Almanya'dan DMG Mori ve Trumpf, Fransa'dan BeAM, Kore'den INSSTEK, Japonya'dan MAZAK, ABD'den Optomec şirketleri örnek olarak verilebilir.



Şekil 15. Doğrudan enerji ya da lazer metal biriktirme teknolojisi prosesi (Anonim, 2021i)

2.3.10.2. Eklemeli İmalat Avantajları ve Dezavantajları

Eklemeli imalat teknolojilerinin avantajları:

- ✓ Geleneksel yöntemlere göre (döküm ve makine) tasarım serbestliği sunması,
- ✓ Tam ihtiyaç duyulan yapıya uyacak şekilde tasarlanmasına olanak sağlayan hafif yapılar,
- ✓ Daha az hammadde tüketimi, sarf malzemedeki tasarruf (yaklaşık 25 kata kadar),
- ✓ Kalıp ya da metal şekillendirme parçalarına ihtiyaç duyulmadan prosesin sonlandırılması,
- ✓ Katmanlar halinde üretimin olanak tanıdığı karmaşık parçaların üretimi,
- ✓ Makine ile işlenmesi zor olan nikel tarzında alaşımlar ile ürün dizaynına imkan vermesi,
- ✓ Birkaç haftadan bir kaç aya çıkabilen geleneksel metalürji süreçlerinin birkaç gün ve haftaya indirgenmesine olanak tanınması

şeklinde sıralanabilir (Anonim, 2021e).

Bu teknolojinin sınırları ise:

- ✓ Parça toz yatak boyutunun 250x250x250 mm ile sınırlı olması,
- ✓ Üretim için parça büyüklüğündeki sınırlama; büyük parçaların üretiminin çok yavaş ve maliyetli olması,
- ✓ Toplu üretime uygun olmaması,
- ✓ Parça tasarımında çıkıntı (overhang) açısının 45°'nin altında olması durumlarında sökülebilir destek yapılarına ihtiyaç duyması,
- ✓ Malzeme seçiminin kısıtlı olması; kaynaklanabilir olmayan metallerin eklemeli imalat vasıtasıyla işlenememesi, kaynaklanması zor olan alaşımların özel bir takım yaklaşımları barındırması,
- ✓ Üretim hattının Z ekseninde parçaların anizotropi gösterme eğiliminde olması,
- ✓ Üretilen parçanın yoğunluğu %99,9'a kadar ulaşırsa da porozitelerin olabilmesi; mekanik özellikler bakımından döküme göre daha iyiyken dövülen parçalara göre daha düşük nitelikli olabilmesi

şeklinde çeşitlendirilmesi mümkündür.

2.3.10.3. Eklemeli İmalat Teknolojisini Kullanan Sektörler

Eklemeli imalatın havacılık-uzay, tıp, enerji, otomotiv, tüketici ürünleri, endüstriyel ürünler gibi farklı sektörlerdeki kullanımları, bazı son ürünler (Şekil 16) ve bunların avantajları aşağıda özetlenmiştir (Anonim, 2019d):

Havacılık- uzay sektörü için :

- ✓ Nikel alaşımı malzemesinden ve Lazer Işınlı Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş olan A320neo Geared Turbofan motoru boroskop başlıklarını;
- ✓ daha düşük maliyette, karmaşık yapıların, daha az malzeme tüketimi ile alet gerektirmeden yılda 2000 parçaya kadar seri üretime,
- ✓ Ti6Al4V malzemesi kullanılarak ve Elektron Işınlı Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş 3,3 kg ağırlığında 380 mm yüksekliğinde olan uydu antenin ağırlığında %55 oranında azalışa,



Şekil 16. a)A320neo Geared Turbofan™ motor için boroskop başlıkları; b)labirent contanın aşınmış dudaklarının onarımı; c)Uydu anteni için destek; d)RSC Emisyon Tarağı; e)Vakum permeatörü; f)Çıkarılabilir Kısmi Takma Diş (RPD) İskeleti; g)İşitme cihazı; h)Kraniyal implant; i)Basınç sensörü muhafazası; j)Temizlenebilir Filtre Diski; k)Kalıp döküm için takım; l)Takım parçaları; m)Kalıp/nozül, vb.'de uyumlu soğutma kanalı; n)Isı eşanjörü prototipi (Anonim, 2019d)

- ✓ Inconel 718 malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınlı Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş olan, 2 kg ağırlığındaki, 270 x 80 x 180 mm boyutlarına sahip RSC emisyon tarağında, tüm bileşen ve ayrıntılarının tek adımda hızlı bir şekilde üretimine, tasarım özgürlüğüne ve geleneksel yollar ile üretimine kıyasla %60 oranında daha düşük maliyet ile üretimine,
- ✓ Nikel alaşımı 718, Nikel alaşımı 713, Waspaloy ve Ti6242 malzemeleri kullanılarak ve Lazer Metal Biriktirme teknolojisinden faydalanılarak bu teknoloji öncesine kadar mümkün görülmeyen labirent contanın aşınmış dudaklarının onarımına, yaşam süresinde 6 katlık bir artışa ve malzmeden tasarruf edilmesine imkan vermiştir.

Sağlık sektörü için:

- ✓ Kobalt Krom (ASTM F75) malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş olan 60 x 30 x 0,5 mm boyutları ve 15 g ağırlığına sahip çıkarılabilir kısmi takma diş iskeleti geleneksel yöntemlere göre daha az iş gücüne, zamana ve daha yüksek üretim hacmine, hassasiyete ve dayanıklılığa,
- ✓ Ti6Al4V ELI (grad 23) malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretimi gerçekleştirilen 15 mm yüksekliğindeki işitme cihazında daha yüksek hassasiyete, mekanik dayanıma, biyo-uyumluluğa ve üretim esnekliğine,
- ✓ Titanyum alaşımı malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak 12 x 8 cm boyutlarındaki kraniyal implantın %95 porozitesi ile sıvılar için geçirgenliğe, kafes yapılarında ısıya karşı koruma sağlanmasına ve kemik dokunun içe büyümesinin desteklenmesine,
- ✓ Paslanmaz Çelik 316L malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş olan Ø55mm boyutundaki temizlenebilir filtre diskinin müşteri ihtiyaçlarına göre değişebilen delik boyutlarında tasarımına alet gerektirmeden üretimine, dokuma tel eleklerle kıyasla parçada girintilerin olmamasına, daha az kirliliğe, temizlik kolaylığına, müşteri durma süresindeki ve maliyetlerdeki azalışa imkan vermiştir.

Enerji sektörü için :

- ✓ Nikel alaşımı HX malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak gerçekleştirilen brülör onarımında onarım süresinin %90 oranında kısaltılmasına, brülör versiyonlarının son teknoloji standartlarına getirilmesine, potansiyel maliyet azalması barındıracak durumların erken teşhisine,
- ✓ Paslanmaz çelik (AISI 316L) malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş, 10 x 10 x 20 cm boyutlarında ve 2 kg ağırlığındaki vakum permeatöründe geleneksel yöntemler ile imkansız olan geometrilerinin üretimine imkan vermiştir.

Endüstri sektörü için :

- ✓ Paslanmaz Çelik 316L malzemesi kullanılarak ve toz yatak üzerinde hassas inkjet teknolojisinden faydalanılarak dizayn edilmiş 50 x 12 x 12 mm boyutlarındaki basınç sensörü muhafazası aparatı ile makine ile işleme, birleştirme ve montaj işlemlerinin ortadan kalkmasına, geleneksel yöntemler ile üretilen muadillerine göre iç özelliklerin eldesindeki kolaylığa, parçaların hizmet maksadıyla tasarlanmasına,
- ✓ Paslanmaz Çelik 316L malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş 150 g ağırlığındaki kalıp döküm için takımında, her bir takımın farklı bir biçimde yapılabilmesine, daha fazla tasarımın değerlendirilmesine, hızlı teslim süresine ve geliştirme programının önemli ölçüde kısaltılmasına,
- ✓ Marajing paslanmaz çelik malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş 35 x 20 cm boyutlarındaki takım parçaları ile üretim tesisi bakım gerekliliğinde 2 haftadan 6 haftaya uzamaya, soğutma sayesinde plastik son ürün deformasyonunun engellenmesine, döngü süresinin %17 oranında kısalması ve maliyetlerin düşmesine,
- ✓ Ti-6Al-4V malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş 80 mm çap x 100 mm yükseklik boyutlarına sahip kalıp/nozül uyumlu soğutma kanalında 3D tasarım ile parça içi kompleks soğutma kanalı ağları ile yüksek tekrarlanabilirliğe, soğutma kanalı ağı tasarımında kesit biçimi, boyutu, yeri gibi parametrelerde esneklik sağlanması, termal yükleme durumuna göre soğutma kanalı ağı için 3D tasarım serbestliğine imkan vermiştir.

Otomotiv sektörü için :

- ✓ Al Si 10Mg malzemesi kullanılarak ve Lazer Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak üretilmiş ısı eşanjör prototipinde maksimum ısı transferinin sağlanması ile kompakt ve ölçeklenebilir tasarıma,
- ✓ Ti6Al4V malzemesi kullanılarak ve Elektron Işınli Ergitme teknolojisinden faydalanılarak 2,6 kg ağırlığında ve 370 mm uzunluktaki F1 devrilme kasnağında geleneksel üretime göre kompleks tasarımlara dolayısıyla daha düşük ağırlıktaki ürünlerin ortaya çıkmasına, üretim süresindeki düşüşe imkan vermiştir.

Endüstri 4.0 altında her bir teknoloji ayrı ayrı incelenirken bazı teknolojilerin kullanımı diğerlerini doğrudan ya da dolaylı şekilde etkileyebilir. Bu kapsamda eklemeli imalatın sensör teknolojisine dokunduğu noktalar ile ilgili bazı çalışmalar Çizelge 5’ de özetlenmiştir:

Çizelge 5. Sensör üretimlerinde kullanımlarına yönelik çalışmalar (Mahale ve diğerleri, 2021)

Sensör tipi	Yıl	Uygulama Alanı	Kaynak
Kapasitif basınç sensörü	2012	Jet motorlorundaki gaz ya da sıvı basıncının ölçülmesi	(Vaezi ve diğerleri, 2013)
Gümüş nanopartikül/karbon macun elektrodu	2013	Fizyolojik pH’da dopamin varlığında ürik asidin saptanması	(Rajendrachari ve diğerleri, 2013)
Fiber optik sensör	2016	Sağlık izleme	(Lehmhus ve diğerleri, 2016)
Kapasitif dokunma sensörü	2016	Temas halinde ve değilken kapasitans ölçümü	(Rahman ve diğerleri, 2016)
Mikroakışkan sensör	2017	Robotik kavrayıcıların aktivasyonu için kullanılmış	(Kumar, 2018)
Gerilim ölçüm sensörü	2017	Eşzamanlı olarak sodyum seviyesinin ölçümü	(Kwon ve diğerleri, 2017)
Ekran baskılı glikoz ve laktat biyosensörü	2017	Hücre toksisite çalışmalarında kullanılmış	(O'Donnell ve diğerleri, 2016)
Glikoz biyosensörü	2018	Diyabet ile ilgili sürecin yönetimi	(Nesaei ve diğerleri, 2018)
Fiziksel bazlı basınç sensörü	2018	Üretim sürecindeki sıcaklık dağılımının ölçümü	(Lu ve Wang, 2018)
Radyasyon sensörü	2018	Tek Foton Emisyonlu Bilgisayar Tomografi (SPECT), Pozitron Emisyon Tomografisi (PET)	(Ahmad ve Salama, 2018)
Lineer Süpürme Voltametri	2018	Paslanmaz çelik için çukur korozyonunun saptanması	(Rajendrachari ve Shashanka, 2018)
Grafen aerojel bazlı esnek sensör	2019	Parmak hareket manipülasyonunda görevli yardımcı aparatı kullanılmış	(Li ve diğerleri, 2019)

Çizelge 5. Sensör üretimlerinde kullanımlarına yönelik çalışmalar (devamı) (Mahale ve diğerleri, 2021)

3O-C12 canlı biyosensör	2019	Akciğer enfeksiyonlarının teşhisinde kullanılmış	(Wolozny ve diğerleri, 2019)
Döngüsel voltametri sensörü	2020	Bakır oksit (CuO) nanoparçacıklarının elektro üretimi ve biriktirilmesi	(Shashanka ve Kumara Swamy, 2020)
Taşınabilir mikroakışkan cihaz sensörü	2020	İnsan mikrodializatının sürekli izlenmesinde kullanılır.	(Ruan ve diğerleri, 2020)
İyontoforetik biyosensör	2020	Alkol izleme sistemlerinde kullanılmış	(Padash ve diğerleri, 2020)
Grafen/PLA biyosensörü	2020	Kronoamperometri kullanılarak kan plazmasındaki glikoz analizi gerçekleştirilmiş	(Muñoz ve Pumera, 2020)
Ter glikoz sensörü	2020	Glikoz seviyesi, nem, pH ve sıcaklığın ölçümünde kullanılmış	(Otero ve Magner, 2020)
Kalorimetrik sensör	2021	Glikoz ve kolesterol seviyelerinin izlenmesinde kullanılmış	(Elbadawi ve diğerleri, 2021)
3D baskılı nanokarbon elektrot sensörü (3DnCE)	2021	Sulu çözeltilerdeki klorofenoller ve nitrofenollerin tespitinde kullanılmış	(Jyoti ve diğerleri, 2021)
Gastrik Yerleşik Elektronik (GRE) cihazı	2021	Askerlerin kişiselleştirilmiş teşhis ve tedavisinde kullanılmış	(Bird ve Ravindra, 2021)
Elektrokimyasal MERS-CoV sensörü	2021	Rekabetçi tahlil yöntemi esasına dayalı olarak MERS-CoV tespitinde kullanılmış	(Dave ve diğerleri, 2021)
Yuvarlanan daire amplifikasyonu (RCA) ile birleştirilmiş elektrokimyasal biyosensör	2021	SARS-CoV-2'nin yüksek hassaslıkta ve spesifiklikte tespitinde kullanılmış	(Chaibun ve diğerleri, 2021)
Akıllı kontakt lensler	2021	Diyabetik hastaların gözyaşlarındaki glikoz konsantrasyonlarının tespitinde ve sürekli olarak izlenmesine kullanılmış	(Alam ve diğerleri, 2021)

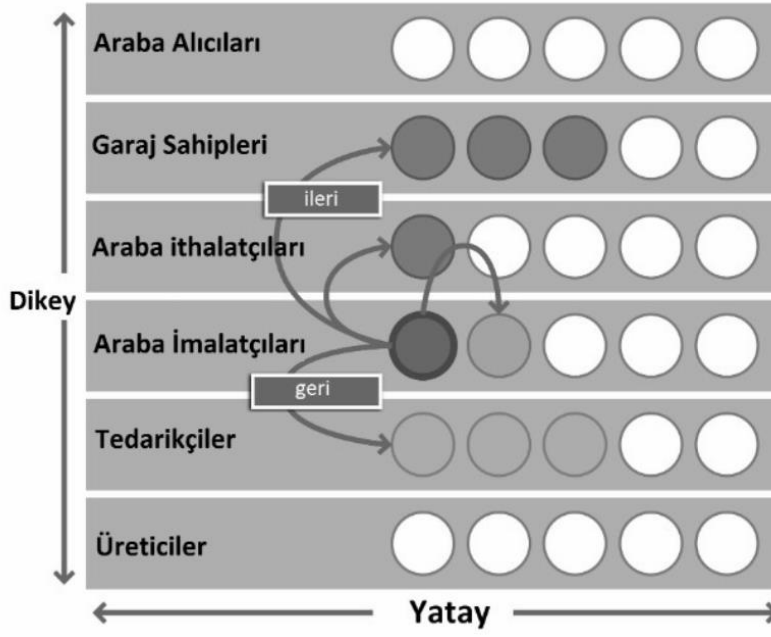
3D baskı teknolojisi ticari ürünler için geleneksel yöntemlere oranla birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Söz konusu teknoloji kişiselleştirilmiş öğeler, artan hassasiyet ve uyumluluk konularında da kullanıcılarına üstünlükler sunmaktadır. Geleneksel yöntemlerin aksine, test süresindeki sürekli azalıştan dolayı bu teknoloji biyomedikal teşhis için ayrıca bir önem teşkil etmektedir. Sensör tabanlı teknolojinin kullanımı ile mühendisler için kritik öneme sahip olan kuvvet, hız, ivme, gerinim ve eğilme momentleri gibi mekanik parametreler kolayca ölçülebilir ve sorunların daha kısa sürede çözülmesine yardımcı olabilir (Mahale ve diğerleri, 2021).

2.3.11. Yatay-Dikey Entegrasyon

Endüstri 4.0'ın uygulanabilmesinde gerekli sistem adaptasyonu için değer zincirleri aracılığıyla yatay entegrasyon, dikey entegrasyon ve imalat veya hizmet sistemleri için ağ oluşturulması ve genel değer zincirinin uçtan uca mühendisliği gibi 3 ana bileşen önem arz etmektedir (Wang ve diğerleri, 2016).

Dikey entegrasyon organizasyon içinde farklı hiyerarşik seviyelerde iş birimlerinin akıllı bir şekilde çapraz bağlanmasını ve dijitalleştirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle dikey entegrasyon, tercihen akıllı fabrikaya oldukça esnek bir şekilde dönüşümü sağlamakta ve küçük parti boyutları ve daha özelleştirilmiş ürünlerin üretimini kabul edilebilir karlılık seviyelerinde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır.

Yatay entegrasyon ile bilgi sistemleri, verimli bir şekilde finansal yönetim ve malzeme akışı kullanılarak ürün yaşam döngüsünü zenginleştirmek adına kuruluşlar arasında bütüncül değer yaratımının eldesinde önemlidir (Anonim, 2015c). Yatay ve dikey entegrasyon, eş zamanlı veri paylaşımını, kaynak ayırımında üretkenliği, uyumlu çalışan iş birimlerini ve bağlı cihazlar için çok önemli olan doğru planlamayı mümkün kılmaktadır (Şekil 17). Son olarak, uçtan uca mühendislik, müşteri gereksinimlerini, ürün tasarımını, bakımını ve geri dönüşümü dikkate alarak destekleyici teknolojilerin dijital entegrasyonu yoluyla ürün geliştirme süreçlerine yardımcı olmaktadır (Wang ve diğerleri, 2016).



Şekil 17. Yatay ve dikey entegrasyon (Yelis, 2021)

Özetlemek gerekirse yatay - dikey entegrasyon değer zincirinde tüm aşamaların, ürünlerin, diğer üreticilerin ve farklı sektörlerin bir arada tutulduğu ve senkron bir şekilde koordinasyon içinde çalışabilmelerine olanak veren bir kavramdır (Kagermann ve diğerleri, 2016). Sürekli veri akışı; üretim sürecinde karşılaşılan dalgalanmalar ve sorunlara anında objektif bir şekilde sisteme cevap verilebilmesini mümkün ve zorunlu kılmaktadır (Yalçın, 2018). Böylece hatalar minimize edilir, zaman ve enerji kaybının önüne geçilir, zamanlama problemleri ortadan kalkar, dolayısıyla rekabetçiliğin artırılması yönde bir etki yapar (Nuroğlu, 2018).

2.3.12. Siber Güvenlik

Yukarıda bahsedilen teknolojilerden özellikle bulut bilişim ve büyük veri teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşması ile artan veri güvenliği ihtiyacı olarak tanımlanabilir. Herhangi bir nedenden ötürü ya da art niyetli ve çıkar düşünen kimseler/kuruluşlar; devlet ve şirketlerin verilerini ele geçirmeye yönelik operasyonlar düzenleyebilirler. Bu nedenle bu sistemlerin iyi korunması elzem pozisyonda olup gelecekte devletlerin ve şirketlerin korumaları gereken en önemli varlıklarının verileri olacağı düşünülmektedir. Bu sektörün günümüzden çok daha önemli bir pozisyonda konumlanacağı aşikar olup acilen konu ile

ilgili nitelikli personel eğitim süreçlerinin desteklenmesi ve istihdam yaratılması gelecek yıllar için akıllıca bir yatırım olacaktır.

2.4. Endüstri 4.0 Avantajları

İşletmeler için Endüstri 4.0'ın getirdiği avantajlara bakıldığında işletme içi kullanılan Üretim Yönetim Sistemi (MES) ve Kurumsal Kaynak Planlama sistemi (ERP) yazılımları ile üretim süreci yönetiminde iyileşmeler, süre bakımından hızlanma, verimlilik artışı sağlanabilir. Endüstri 4.0 ile birlikte sistem içerisine yeni protokollerin ve süreçlerin eklenmesi oldukça kolaydır. Üretim bölümü içerisindeki bileşenler arası iletişimin kurulması mümkündür. Endüstri 4.0 mimarisinin kurulum, etkinleştirme ve değiştirilmesi de oldukça kolay olup bu sistem içerisindeki şeffaf ve takibi sürülebilir iletişim yolları kaynak yönetimini kolaylaştırmaktadır. Tabii bu sürecin gerektirdiği nitelikli bir işgücü, bu nitelikli iş gücünü oluşturabilecek bir eğitim sistemi, geçiş süreci maliyeti de şirketlerin geçişini zorlaştıracaktır (Kasa ve Arslan, 2020).

2.5. Endüstri 4.0 zorlukları ile başa çıkabilmek adına çağdaş yöneticilerin sahip olması gereken yetkinlikler

Yapılan bir derlemede temel yönetsel yetkinliklerin genel olarak literatürde teknik yeterlilik, yönetsel yetkinlik ve sosyal yetkinlik olacak şekilde 3 ana başlık altında toplandığına işaret etmektedir (Grzybowska ve Łupicka, 2017). Teknik yetkinlik medya, kodlama, bilgi yönetimi, istatistik gibi iş ile ilgili bilgi ve becerilerin yer aldığı bireylerin uygulama ve öğrenme yolu ile edindiği yetkinlikleri, yönetsel yetkinlik işte hızlı karar verme, astların yönetilmesi, müzakere ve yanıt taktikleri gibi analitik düşünce, araştırma, problem çözme ve yaratıcılık gibi becerilerin ve yeteneklerin yer aldığı yetkinlikleri ve sosyal yetkinlik ise sosyal beceriler, sosyal iletişim ve kişiler arası iletişim gibi yapıların yer aldığı başkaları ile gelecek üzerine bir takım beklentilerin inşa edildiği ve bireylerin kendi davranışları ile ilgili algı geliştirdikleri yetkinlikleri kapsamaktadır (Grzybowska ve Łupicka, 2017; Barone, 2021).

Bu çalışmanın çıktılarını özetlemek gerekirse Endüstri 4.0'ın talep ettiği yönetsel yetkinlikler yaratıcılık, girişimci düşünce, problem çözme ve fikir ayrılıkları esnasında durumu iyi yönetebilme yeteneği, hızlı karar alma becerisi, analitik yetenekler, araştırma yetenekleri ve verimlilik oryantasyonu olarak sıralanmaktadır. Çalışma kapsamında

otomotiv ve ilaç sektöründen uluslararası şirketlerde çalışan kalifiye 10 yöneticinin katıldığı anket yapılmış, otomotiv sektörü ve ilaç sektörünün yönetsel yetkinliklerde aradığı yukarıda bahsedilen özellikler derecelendirilmiş ve Çizelge 6’ da paylaşılmıştır.

Çizelge 6. Otomotiv ve ilaç sektörünün yönetsel yetkinlikler bakımından değerlendirilmesi (Grzybowska ve Łupicka, 2017)

No	Otomotiv Sektörü			İlaç Sektörü	
	Yönetsel yetkinlikler	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Aritmetik ortalama	Standart sapma
1	Yaratıcılık	3,71	4,57	2,57	0,54
2	Girişimci düşünce	4,57	0,53	3,57	0,79
3	Problem çözme	4,25	0,71	4,86	0,38
4	Kriz anlarını iyi yönetebilme	4,25	0,71	4,71	0,49
5	Hızlı karar alma becerisi	4,57	0,92	5,00	0,00
6	Analitik yetenekler	4,13	0,35	4,14	0,90
7	Araştırma yetenekleri	2,38	1,51	2,29	1,38
8	Verimlilik oryantasyonu	4,50	0,53	4,43	0,53

Çizelge 6’ daki sonuçlardan görüleceği üzere farklı sektörlerin Endüstri 4.0 aşamasında personelinden beklediği yetkinliklerin de önem dereceleri farklı olmaktadır. 2 sektörde de hızlı karar alabilme, problem çözme ve kriz anlarını iyi yönetebilme becerileri önemli olarak değerlendirilirken, araştırma yeteneklerinin diğer yönetsel yetkinliklere göre daha düşük puan aldığı raporlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışma bir veri analizi ve konsolidasyon çalışması olmakla birlikte farklı literatür ve kaynaklarda yer alan verilerin, sektörel bazdaki mevcut uygulamalarının yorumlanarak bir öz değerlendirme yapıp, anlamlı bir bağlama dönüştürülmesi ve yorumlanması ile oluşturulmuştur. Bu amaçla, ülkemiz ekonomisinin öncü dinamikleri arasında yer alan imalat, otomotiv, lojistik, gıda ve tarım, eğitim, sağlık, e-ticaret, finans ve bankacılık, telekomünikasyon ve medya, reklamcılık ve diğer sektörlerdeki (enerji, teknoloji, yayıncılık, profesyonel hizmetler, girişimler, yapay zeka) uygulamalar çalışmada materyal olarak ele alınıp, incelenmiştir.

3.2. Yöntem

Söz konusu sektörlerle ait analiz yapılırken farklı sektörlerde uygulanmakta olan dijitalleşme ve dijital dönüşüm faaliyetleri incelenerek bu faaliyetlerin etki alanları ile ilgili çeşitli veriler araştırılmıştır. Söz konusu veriler, ilgili literatür ve kaynaklardan alıntılar alınıp, yorumlama yapılarak, verilerin ifade edildikleri anlamlar üzerine içerikler sunulmuştur. Bu tez kapsamında endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm metodolojisi çalışmanın yöntemi olarak kullanılıp, bir öz değerlendirme yapıp, veriler yorumlanmıştır. Elde edilen kaynak verileri, istatistiksel yüzde yöntemleri ve grafikler kullanılarak incelenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye'deki ana sektörler; tarım, hayvancılık, sanayi, ticaret, turizm, ulaşım, maden ve enerji, su ve orman ürünleri olarak sıralanmaktadır. Bilginin hüküm sürdüğü bu çağda endüstri 4.0 devriminin de katkısı ile bilişim sistemleri ve teknoloji, elektronik, telekomünikasyon-iletişim, eğitim, sağlık, perakende, enerji, otomotiv, hava teknolojileri, savunma, tekstil, güvenlik ve danışmanlık gibi sektörlerin gelişimi ivmelenmiştir.

Dijitalleşme kavramının tüm işletme için etkileri olsa da, özellikle bilgi temelli ürün ve hizmetler ile ilgilenen sektörlerde dijitalleşmenin etkisi diğerlerine oranla daha büyük olmalıdır. Bilgi temelli ürün ve hizmetler ile ilgilenen sektörler sorunsuz bir şekilde dijital organizasyonlara dönüşürken, diğerleri dijital entegrasyon fırsatlarını belirlemekte zorlanabilmektedir. Perakende, finansal hizmetler, profesyonel hizmetler, ulaşım, teknoloji, telekomünikasyon, medya, yayıncılık gibi sektörler, dijital büyümede iş dünyasına liderlik eden ve en büyük yenilikleri gerçekleştirmiş olan, işlemleri kolaylaştıran, ürün teslimatını iyileştiren ve hem iç hem de dış değer zincirlerini geliştirmek için yeni teknolojileri kullanarak en büyük yenilikleri gerçekleştiren sektörler arasında sayılabilir. Bu kapsamda aşağıda sektörel baz da endüstri 4.0 ve dijital dönüşümün etkileri incelenmiştir. Aşağıda sözkonusu bu sektörlerin her birine ait detaylar verilmiştir.

4.1. İmalat Sektörü

İmalat sanayi hammaddelerden ara ürünlere dönüştürülme sürecinin el ya da makine aracılığı ile gerçekleştirildiği, ağır ve hafif olmak üzere ikiye ayrılmış olan sanayi dalı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan demir-çelik, motorlu araç, çimento üretimi gibi sanayileri bünyesinde barındıran ağır sanayi donanım ve makineler için yatırımı yüksek, nitelikli iş gücüne önem veren sanayi türünü oluştururken, elektronik, giyim, dokumacılık gibi sanayi türlerini içeren sanayi türü hafif sanayidir. Hafif sanayide üretimi gerçekleştirilen ürünler dayanıksızdır ve bunların üretim sürecinde kullanılan donanım ve makineler için gerekli yatırımlar ağır sanayiye kıyasla oldukça düşüktür. OECD imalat sanayini AR-GE faaliyetlerine göre yüksek, orta ve düşük teknoloji düzeyine sahip olan sektörler olarak 3'e ayırmaktadır. Bunlardan yüksek teknoloji barındıran sektörlerle

haberleşme cihazları, elektrik makineleri, uçak, hesap makineleri, bilgi işlem, ilaç ve mesleki cihaz sanayileri örnek olarak verilirken orta teknoloji barındıran sektörler boya, vernik, ana kimya, demir çelik dışı metaller, uçak dışındaki ulaşım araçları, lastik ürünler, temizlik malzemeleri gibi sanayiler örnek verilmiştir. Düşük teknoloji düzeyindeki sanayiler olarak ise gıda, demir çelik, metal eşya, tekstil, giyim, kağıt ürünleri, orman ürünleri, çimento-kil gibi sanayiler sıralanmıştır. Dolayısı ile yapılan sınıflandırma teknolojiyi ön plana konularak emek ve sermayenin dışarıda bırakıldığı bir sınıflandırmadır (Taymaz ve Suiçmez, 2006). Literatürde imalat sanayinin büyük ve küçük ölçekli işyerleri şeklinde de sınıflandırılmaları mümkündür (Şahin, 2006).

İmalat sanayi, bünyesinde geliştirilen yeni teknolojiler ve bu teknolojilerin diğer sektörlerle yayılmasıyla diğer sektörlerin üretkenliklerinin artmasında önemli rol oynamaktadır. Örnek vermek gerekirse tarım sektöründe kullanılan tarım makineleri, ilaç ve gübre gibi ürünler emek üretkenliği ile doğrudan ilişkilendirilebilirken haberleşme ve ulaşım araçları ile bilişim teknolojileri hizmet kesimindeki üretkenliğin artması ile doğrudan ilişkili olup bu teknolojiler imalat sanayi tarafından geliştirilip üretilmektedir (Taymaz ve Suiçmez, 2006). İmalat sanayi verimlilik artışında oldukça önemli olup üretim ve istihdam bakımından ülkemizde büyük bir paya sahiptir (Bulutay, 2005). Hatta imalat sanayi kendi gelişimi dışında diğer sektörlerin de gelişimini desteklemesi ile büyümenin lokomotifleri olarak da kabul edilmektedir (Polat, 2011). İmalat sanayi ülkelerin gelişme sürecindeki en temel göstergelerden birisi olup gelirin artması ile birlikte imalat sanayinin kompozisyonu hafif sanayiden ağır sanayiye doğru değişim yaşamaktadır (Polat, 2011). Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için ekonominin temel yapı taşı olan imalat sanayisi ülkemizde yüksek istihdam kapasitesi ve ülke geneli ihracat payının yüksek bir paya sahip olmasıyla ekonomimiz için büyük önem arz etmektedir.

TUIK 2021 verilerince imalat sanayinin toplam ihracat içerisindeki payı %94,9 olarak saptanırken, bunu tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörü %3,1 ile, madencilik ve taş ocakçılığı sektörü ise %1,6 ile takip etmektedir. Ayrıca yüksek teknoloji gerektiren ürünlerin imalat sanayi ihracatı içerisindeki payının %3,4 olduğu bildirilmiştir. İmalat sanayinin ithalattaki payı %79,2 olarak raporlanırken, yüksek teknoloji ürünlerin imalat sanayi içerisindeki payı da %13,6 olarak Çizelge 7’ de özetlenmiştir (Anonim, 2021d).

Çizelge 7. Teknoloji yoğunluğuna göre imalat sanayi ürünleri dış ticareti (TÜİK, 2021)

Teknoloji Yoğunluğu	Mart					Ocak-Mart				
	2020		2021		Değişim	2020		2021		Değişim
	Değer (milyon \$)	Pay (%)	Değer (milyon \$)	Pay (%)	(%)	Değer (milyon \$)	Pay (%)	Değer (milyon \$)	Pay (%)	(%)
<i>İhracat (FOB) (milyon ABD \$)</i>										
Toplam imalat sanayi	12 645	100,0	18 013	100,0	42,4	40 348	100,0	47 148	100,0	16,9
Yüksek teknoloji ürünler	451	3,6	616	3,4	36,7	1 336	3,3	1 482	3,1	10,9
Orta yüksek teknoloji ürünler	4 517	35,7	6 380	35,4	41,2	14 534	36,0	16 959	36,0	16,7
Orta düşük teknoloji ürünler	3 454	27,3	5 252	29,2	52,1	10 789	26,7	13 189	28,0	22,2
Düşük teknoloji ürünler	4 223	33,4	5 764	32,0	36,5	13 690	33,9	15 519	32,9	13,4
<i>İthalat (CIF) (milyon ABD \$)</i>										
Toplam imalat sanayi	15 115	100,0	18 719	100,0	23,8	43 428	100,0	48 334	100,0	11,3
Yüksek teknoloji ürünler	2 225	14,7	2 555	13,6	14,8	5 898	13,6	6 408	13,3	8,6
Orta yüksek teknoloji ürünler	6 269	41,5	8 982	48,0	43,3	17 657	40,7	22 418	48,4	27,0
Orta düşük teknoloji ürünler	4 878	32,3	5 228	27,9	7,2	14 499	33,4	14 514	30,0	0,1
Düşük teknoloji ürünler	1 744	11,5	1 955	10,4	12,1	5 373	12,4	4 993	10,3	-7,1

Araştırma ve geliştirme faaliyetleri ile teknolojik faaliyetlerin büyük kısmına ev sahipliği yapan imalat sanayi teknoloji ve yenilik politikalarının uygulanması aşamasında stratejik bir konumda bulunmaktadır. İleri teknolojinin sisteme entegre olması ile üretkenlik düzeyi, gelirden ve talepte artışlar meydana gelecektir. Bu aşamada Endüstri 4.0 kavramı oldukça önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.1.1. İmalat Sektörü Dijital Dönüşümü

Günümüz dünyasında üretimin dijitalleştirilmesi akademi (Kusiak, 2018) ve devlet kurumlarından (Prinz ve diğerleri, 2018) oldukça rağbet görmektedir. Literatürde sıkça tartışılan imalattaki bu dijitalleşmenin evrensel olarak kabul gören bir tanımı bulunmamaktadır (Buer ve diğerleri, 2018). Genel hatları ile üretim operasyonlarının artan verimliliği ve esnekliğini sağlanması adına modern bilgi ve iletişim teknolojilerinin ile veri analitiğinin uygulamalarını içeren bir sistem şeklinde tanımlanabilir (Thoben ve diğerleri, 2017). Bilim insanları üretimin dijitalleşmesiyle ilişkilendirdikleri potansiyel getirilerin altını çizseler de (Mittal ve diğerleri, 2017), sahadaki uygulama oranı oldukça düşüktür (WEF Company, 2019).

Özellikle KOBİ'ler için: dijital teknolojilere yapılan yatırımlar karşılığını veriyor mu? sorusu sahip oldukları kısıtlı finansal kaynaklar ve kalifiye personel eksikliği bakımından önem arz etmektedir (Lorenz ve diğerleri, 2019; Ruggero ve diğerleri, 2019).

Nesnelerin İnternetine (IoT) ve servisini kapsayan endüstriyel internete gömülü akıllı fabrikaların, akıllı ürünlerin ve akıllı hizmetlerin kurulmasına dayanan endüstri 4.0 imalat sanayi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Stock ve Seliger, 2016).

Dijitalleşme ile her yerde mevcut bulunan bilgi ve iletişim teknolojisi (ICT) altyapısı sürdürülebilir üretimin gerçekleştirilmesi için muazzam fırsatlar doğurmaktadır.

Türkiye'de imalat sektörünün en büyük problemleri ihracatın yüksek seviyede ithalata bağımlılığı (Kundak ve Aydoğuş, 2018) ve üretim ile dış ticareti teknoloji içeriği yüksek ürünlerin domine etmesinden kaynaklıdır (Anonim, 2017c). İmalat sektöründe teknolojik bakımdan bir sınıflandırma yapılarak ihracat içindeki paylarına göz atıldığında; yüksek teknoloji gerektiren ürünlerin payının %2,8 ile orta yüksek teknoloji gerektiren ürünlerin (%37,1), orta düşük teknoloji gerektiren ürünlerin (%27,5) ve düşük teknoloji gerektiren ürünlerin (%32,6) paylarına göre oldukça düşük olduğunu görmekteyiz (Anonim, 2018b). TUBİTAK'ın (Anonim, 2016c) 1000 özel sektör kuruluşuna uyguladığı anket sonuçlarına göre Türkiye'deki firmaların henüz tam otomasyona geçememiş olduğu ve dijital olgunluk seviyelerinin Endüstri 2.0 ile 3.0 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Aynı ankette firmaların teknoloji seviyesi en yüksek sektörleri bilgisayar, elektronik ve optik ürünler, malzeme (kauçuk, plastik), otomotiv ve beyaz eşya yan sanayi olarak

sıralanmıştır. TÜBİTAK dijitalleşme, etkileşim ve geleceğin fabrikaları altında 8 kritik teknoloji, 10 stratejik hedef ve 29 kritik ürün belirlemiş ve bu kapsamda gıda ve kimya, beyaz eşya, otomotiv sektörlerini katma değerleri göz önünde bulundurarak öncelikli sektörel alanlar olarak seçmişlerdir.

Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği (TÜSİAD) ve The Boston Consulting Group (BCG)'nin 2017 yılında 110 teknoloji tedarikçisi ile gerçekleştirdiği araştırmada araştırmaya katılan şirketlerin %90'ının dijital dönüşüm ile ilgili bilgi seviyelerinin yüksek olmasına rağmen sadece %61'i kendini bu dönüşüme hazır hissettiği sonucu raporlanmıştır.

Türkiyede imalat sanayiyi KOBİ'lerin domine etmesinden dolayı Endüstri 4.0 devrimi için KOBİ'lerin dijitalleşmesi ne yönelik yatırımlar iyi bir strateji olarak görünmektedir. Teknoloji üretiminin ülke içinde üretimi ile taleplerin karşılanması sonucu pazar ülke içine kayacak ve teknoloji alanında ithalatın azalması ile cari açık üzerine olumlu bir etkide bulunması kaçınılmazdır.

Sadece ülkemizde değil uluslararası ölçekte de bilişim kabiliyeti artmış, söz konusu akıllı makinelerin üretim, kullanım ve yönetimine vakıf, bu teknolojiden çıkan ham veriyi analiz edebilen kalifiye işgücüne olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Bu kapsamda evrensel çapta dijital dünya gerekliliklerine uygun nitelikli iş gücü yetiştirilmesi ve mevcut iş gücünün yetkinliklerinin geliştirilmesi dijitalleşmeye ayak uydurmak ve dijitalleşmeye yön verebilmek bakımından önem arz etmektedir.

KOBİ'lerin dijitalleşmesi, gerekli iş gücünün sağlanması, desteklenmesi, hali hazırda mevcut iş gücünün konu ile ilgili eğitilmesi, kalifiye duruma getirilmesi hem teknoloji üreticilerini hem de insanı dönüştürerek dijital dönüşüm sürecini ivmelendirecektir.

Kimya ve ilaç, elektronik ve yarı iletkenler, makine ve teçhizat, gıda, motorlu kara taşıtları gibi sektörler katma değerini yükseltmesi gereken odak sektörler olarak belirlenmiştir. Bu sektörler için cari açığın azalması, yüksek teknolojiye sahip ürünlerin ihracat payının artması, iç pazarda kullanımlarının yaygınlaşması, sanayinin rekabet gücünün artırılması gibi hedefler için izlemeleri gereken yol haritaları çizilmiştir (Anonim, 2018).

2030 yılı için uluslararası pazarın yarısını akıllı ürün ve hizmetlerin ticaretinin domine edeceği tahmin edilmektedir (Anonim, 2016c).

Günümüzde ülkemizin gerek coğrafi konumu gerek üretim, yönetim anlayışı, gerekse de dış ticaret açığının veriliyor olması Endüstri 4.0 dönüşümünü bir zorunluluğa dönüştürmektedir. Endüstri 4.0 ile dijitalleşen sistemlerde insan hataları azalacak, üretim verimliliği yükselecek, aynı zamanda üretim maliyeti düşerken kalitesinin artması gibi durumlar mümkün olabilecektir. Bu süreci başarılı bir şekilde yürüten ve sisteme adapte olabilen şirketler ile üretimsel iyileşmelerin sonucu sağlanacak gelir ülke içinde kalacaktır. Teknolojinin artması ile birlikte ekonomi güçlenecek, düşünülenin aksine kalifiye insan gücüne ihtiyaç artacak ve yeni sektörler açılacaktır. Doğru bir süreç yönetimi ile ihracat ve ithalat verileri arasındaki açık kapanacaktır.

(Özkan ve diğerleri, 2018) Endüstri 4.0 ile ülke ihracatının olumlu korelasyonuna değinmiştir. Dijitalleşme ile milli gelir, istihdam, yatırım, tasarruf ve tüketim artacak, şirketler küresel piyasada daha rekabetçi konuma gelecektir.

Sektörün dijitalleşmesini rekabetçilik bakımından ele alırsak; düşük iş gücü, yüksek teknolojiye sahip ülkeler işçilik maliyetlerinden bu vasıta ile kurtulacak ve yüksek iş gücü, düşük teknolojiye sahip ülkeler ise dijital teknolojilere kolay erişim sağlamaları ile bunu fırsata çevirerek küresel pazarda rekabet pozisyonlarını geliştirme şansı elde edeceklerdir (Nuroğlu ve Nuroğlu 2018).

Eğer Endüstri 4.0 treni kaçırılırsa dünyada kurulacak sistemlere entegre olunamaması ve uygun altyapının kurulamaması ile iş ve ticaret kayıplarının meydana gelmesi, uluslararası firmalar ile birlikte çalışılmaması, dijitalleşen sanayinin akıllı cihazlarının temininin ancak ithal edilerek sağlanması gibi olumsuz senaryolara kucak açılması anlamına gelmektedir.

İmalat sanayi içerisindeki dijital dönüşüm kapsamında ürün geliştirilmesi, planlama, tedarik zinciri ve lojistik, üretim, satış ve pazarlama, satış sonrası hizmetler gibi aşamalarda önemli gelişmeler kaydedilecektir. Ürün geliştirmede PLM (Product Lifecycle Management) adı verilen ürün yaşam döngüsü yönetimi programları; üretim süreçlerinde MES (Manufacturing Execution System) adı verilen üretim yönetim sistemi

programları ile PLC (Programmable Logic Controller) adı verilen programlanabilir mantık denetleyicileri ve bu sistemler arasındaki veri iletişim altyapılarının oluşturulmasından sonra ERP (Enterprise Resource Planning) adı verilen işletme kaynak planlaması yazılımları ile ürün geliştirme süreçlerinde kalite artışı, hız ve verimlilik adına önemli gelişmeleri beraberinde getirmektedir (Anonim, 2017a).

Ürün geliştirilmesi sürecinde müşteri ihtiyaçlarının yüksek doğrulukta ve doğru zamanında tahminlenmesi elzem durumdadır. Büyük veri analizi gibi dijital teknolojilerin kullanımı ile müşteri ihtiyaçları erken aşamalarda yüksek doğrulukta saptanabilmektedir. Tahminleme aşaması için modele sunulan veriler müşterilerin e-ticaret sitelerinden yapmış oldukları alışverişlerinden, arama motorları vasıtasıyla yaptıkları aramalardan, farklı sitelerde yaptıkları yorumlardan, izlenen videolardan ve kullanılan sosyal medya hesaplarından aktarılmaktadır. Ürün geliştirilmesinde önemli bir husus olan ürünün hızlı bir şekilde pazara sürülmesi ise gelişmiş yazılımlar ile geleneksel olarak ardışık sıralı olan üretimi eş zamanlı üretime dönüştürülmesine imkan vererek zamandan tasarruf sağlanabilecektir.

3 boyutlu yazıcılar ve simülasyon yazılımı ile birlikte eklemeli imalat adı altında prototip ürün testleri daha hızlı, esnek ve uygun maliyetli olarak gerçekleştirilecektir. Buna örnek olarak Ford Motor Company eklemeli imalat ile motorun en karmaşık parçası olan emme manifoldu için gerekli olan 4 aylık prototip oluşturulma süreci ve 500 bin dolarlık bütçeyi 4 günlük bir sürece ve 3 bin dolarlık bütçeye indirgemıştır (Lizotte, 2014).

Ürüne talebin yukarıda bahsedilmiş kanallar vasıtası ile bilgilerin toplanıp büyük veri ve ileri analitik gibi dijital teknolojilerden süzülerek tahminlenmesinden sonra planlama aşamasına geçilmektedir. Bu verilerin analizleri sonucunda doğru planlamanın yapılması ve bu planlama aşamasında ayrıca değer zincirinin farklı basamaklarında maliyetlerin optimizasyonu ile işletmelerin verimlilik ve karlılık değerleri yükselecektir. Günümüz tüketicilerinin yüksek çeşitlilik ve kişiselleştirilmiş ürünlere talebi de bu planlama, talep yönetimi denklemini daha kompleks hale getirmiş dolayısı ile rekabetin de artması ve şirketlerin oyunda kalabilmeleri adına büyük veri ve ileri analitik gibi dijital teknolojilerin kullanımı konusunda büyük önem kazanmıştır.

Planlama sürecinden sonra tedarik zinciri ve lojistik aşamaları devreye girmektedir. Bu aşamalarda dijital teknolojilerin kullanımı ile siparişlerin doğru zamanda verilip, teslim alınması sağlanır ve depo içi stok takipleri eş zamanlı olarak temin edilir. Bu şekilde depo içi kayıt ve transferlerde iş gücü kullanımının önüne geçilir, işletmeler için gereğinden fazla stok taşıma maliyetleri asgari seviyede tutulmuş olur. Stok takibi dışında depo içi transferleri yönlendiren dijital teknolojiler de giderek önem kazanmaktadır. Buna örnek olarak Amazon şirketi 2012 yılında KIVA Systems isimli genç bir robot şirketini 775 milyon dolara satın almış ve 70 civarı deposunda bu robotları raflardaki ürünlerin amaca uygun transferi aşamasında kullanmaktadır. Günümüzde yüzbinlerce istihdama sahip olan Amazon şirketi insan işçilerin yanı sıra 200 bin kadar mobil robotu da depo kısmında görevlendirmektedir. Bu sayede Amazon Prime müşterilerinin giderek artan hız talepleri bahsedilen mobil ordu ile şirketin vaatlerinin yerine getirilmesine yardımcı olmaktadır (Rey, 2019).

Üretim aşamasında verimliliğin artırılması, hataların asgariye indirilmesi konularında otomasyon oldukça önemli olup üretim faktörlerinin izlenebilirliği ve bu faktörlerin kontrolünün sağlanması kritik önemdedir. Üretim hatları gelişmiş robotlar ya da işbirlikçi robotlar gibi akıllı sistemler ile otomasyonun desteklenmesi, üretim faktörlerinin uzaktan ya da eş zamanlı izlenebilirliğine ve gerektiğinde müdahaleye ve anlık geri bildirimlere olanak tanınması, kalite kontrollerinin eş zamanlı olarak otomatik yapılmasına olanak tanınması, makine duruş sürelerinin arızalar oluşmadan tespitine olanak sağlaması bu dijital teknolojilerin üretim aşamasında getirecekleri faydalardan olacaktır. Üretim hattında gerçek zamanlı takip ve düzeltme için Toyota'nın Rockwell yazılımı örnek gösterilebilir. Geliştirilen bu yazılım ile büyük veri ve ileri analitik yöntemleri kullanılarak üretim hattında eş zamanlı takip ve düzeltme imkanı sunulmakta ve bu şekilde hatalı üretimi ve hurdayı şirket minimuma indirmektedir. Bu yatırımıyla Toyota'nın Alabama tesislerinde 550 bin dolarlık tasarruf sağladığı raporlanmıştır (Rathore, 2017).

Satış ve pazarlamada aşamasında dijital teknolojiler genellikle müşteri aktivitelerinin büyük veri ve ileri analitik kullanılarak analizi, benzer yolaklar bulunarak aktivitelerinin tahminlenmesi, anlık sipariş takibi, kişiye özel promosyonlar, chatbot, sesli asistanlar, ürüne ait bazı özelliklerin kişiselleştirilmesi gibi alanlar ile günümüzde daha aşına

olduğumuz ve kullanım alanı daha yaygın olan ürün kataloğuna erişim, görüş ve şikayetlerin bildirim, sipariş verme, ürün ile ilgili danışmanlık veya çözüm hizmetleri alınması, ödeme yapılması, sipariş değişikliği gibi alanlarda kullanımlarından bahsetmek mümkündür.

Satış sonrası hizmetler aşamasında da dijital teknolojilerin kullanımı söz konusudur. Burada ürünlerin eş zamanlı etkileşimleri, uzaktan bakımı, uçtan uca müşteri yolculuğunda söz sahibi olmak mümkündür. Uzaktan erişim gibi dijital teknolojiler ile müdahale süreleri kısaltmakta ve aynı zamanda seyahat masraflarının da önüne geçilebilmektedir.

Dijitalleşme sürecinin düzgün işleyebilmesi adına gerekli bazı parametreleri bilinçli bir müşteri kitlesinin oluşturulması, finansman imkanlarının sağlanması, iş birliğine açık müşteri varlığı, devlet teşvikleri, geliştirilen ürünlerin ticarileştirilmesi aşamasında danışmanlıklar, nitelikli iş gücü yetiştirilmesi, dijital altyapının sağlanması şeklinde sıralanabilir. Ekosistem olarak ise akademinin teknik yeterliliği arttırılmalı, kullanıcıların akademi ile iş birliği yapması teşvik edilmeli, kullanıcıların dijital teknoloji tedarikçileri ile iş birliği yapabilme kültürü oluşturulmalı, teknoloji ve yönetim konuları ile ilgili danışmanlık hizmetleri teşvik edilmeli, kullanıcıların tedarikçiler gibi değer zincirindeki diğer oyuncular ile iş birliği yapması teşvik edilmeli ve dijital teknoloji tedarikçilerin yeterliliği sağlanmalıdır.

İmalat sanayideki dijital dönüşüm ile işletmelerdeki üretim süreci ve iş modelleri dijital teknolojilerin getireceği verimlilik, hız, kalite artışı, esneklik gibi uygulamalarından faydalanılarak katma değerini arttıracak ve rekabetçiliği geliştirilmesinde önemli rol üstlenecektir. Yenilikçi teknoloji bileşenlerinden faydalanılarak üretilen dijital teknoloji ile ülkenin uluslararası arenada rekabetçi pozisyonunu korumasında kritik rol oynayacağı aşikardır.

İşletmeler yeni teknolojilerin geliştirilmesi aşamasında teknik ve mali desteğe ihtiyaç duyacaklar ve burada üniversiteler ile iş birliği, destekler ve teşviklere ihtiyaç duyacaklardır. Bu aşamada kamu kurumları, üniversiteler, STK'lar, finans kuruluşları gibi kurumların dijital dönüşümü teşvik edici stratejileri de dijital dönüşüm yolundaki başarıyı getirecek parametrelerden olacaktır.

Ülkemizde imalat sanayinin dijitalleşme sürecinde yapılan çalışmalara bakıldığında 2016 yılında gerçekleştirilen Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu kararınca Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve TÜBİTAK önderliğinde “Akıllı Üretim Sistemlerine Yönelik Çalışmaların Yapılması” süreci başlamıştır. Aynı yıl içerisinde Sanayide Dijital Dönüşüm Platformu faaliyetlerine başlanmış olup bu platform teknoloji üretimi, teknolojinin efektif kullanımı, üretim kapasitesi artırılması ve dijital yetkinliklerin artırılmasını hedeflemiştir. Bu platformun icra kurulu olarak Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanı başkanlığında, kurul üyesi kurumların başkanları, Sekretarya olarak Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, danışma kurulu olarak icra kuruluna ve platform sekretaryasına stratejik ve teknik destek sağlayacak birim, çalışma gruplarını ise TOBB (Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği), TİM (Türkiye İhracatçılar Meclisi), TÜSİAD (Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği), MÜSİAD (Müstakil Sanayici ve İşadamları Derneği), YASED (Uluslararası Yatırımcılar Derneği), TTGV (Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı) oluşturmaktadır. Bu çalışma grupları dijital dönüşüm ile ilgili altyapı, inovasyon, dijital teknolojiler, ileri üretim teknikleri, standartlar, mevzuat, patent ve eğitim başlıkları altında çalışmaları gerçekleştirmek üzere ayrılmıştır.

2016 yılında TÜBİTAK işletmelerde Ar-Ge ve akıllı üretim konularındaki ilgi ve entegrasyon seviyesinin ölçülebilmesi amacı ile “Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemlerine Yönelik Kilit ve Öncü Teknolojiler Önceliklendirme” başlıklı bir anket çalışması gerçekleştirmiştir. Bu anket sonrasındaki bulgular ışığında TÜBİTAK tarafından “Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası” raporu hazırlanmıştır (Anonim, 2016c). 2017 yılında dijital dönüşüm odaklı çalışmaların gerçekleştirilebilmesi amacıyla Dördüncü Sanayi Devrimi Dairesi Başkanlığı kurulmuştur. Aynı yıl içerisinde Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından “KOBİ’lerde Dijital Dönüşümün Sağlanmasına Yönelik Politika Değerlendirme Çalışması” isimli proje yürütülmüş ve bu çalışma ile birlikte imalat sanayi dijital dönüşüm haritasının çıkarılması aşamasında ekosistemdeki tüm bileşenlerin mevcut durumları analiz edilmiştir.

4.1.1.1. İstihdam ve İşgücü

Dijital teknolojiler günümüze kadar olan süreçte iş gücü ve insan emeği gerektiren çoğu işin otonom, sistematik hale gelmesine olanak tanımakta ve bu da teorik olarak insan iş

gücünü azaltarak istihdamı azaltıcı rol oynamaktadır. Fakat bundan önceki sanayi devrimlerine de bakıldığında değişen teknolojik altyapı istihdam üzerine baskılar oluşturmakla birlikte ekonomideki büyüme ile ek istihdam olanakları sayesinde istihdam sayısı artışını yanında getirmiştir.

Teknoloji benimsenme hızı ile ilgili senaryoların geliştirildiği bir çalışmanın tahminlerince 2030 yılı için 400-800 milyon arasında halihazırda çalışan insanın işlerini kaybedeceği, 75-375 milyon için yeni beceriler kazanıp farklı işlerin yapılmasına olan ihtiyacı karşılayacakları tahminlenmiştir. Bunun dışında aynı raporda 900 milyona yakın yeni iş imkanı oluşacağı ifade edilmiştir (Anonim, 2017d). Günümüzde beden işçiliği ile yapılarak istihdam olanağı bulan birçok kişinin bu dijitalleşme sürecinin sonunda gelecek olan otomasyon ile birlikte gerekli iş gücü robotlara bırakılacaktır. Otomasyona bağlı olarak risk altında olan mesleklere lojistik ve taşımada çalışanlar, ofis-idari destek görevlileri ve üretimde çalışan işçileri örnek verebiliriz (Anonim, 2017h).

Özetle, dijital dönüşüm iş gücü gerektiren bazı işleri otomasyona devrederken yeni teknolojilere adapte olan yeni iş grupları ve kalifiye elemanlara ihtiyacı artacaktır.

Amerikan Makine Mühendisleri Birliği ve Alman Mühendisleri Birliği tarafından gelecekte fabrikaların nasıl olacağına dair vizyon geliştirilmesi amaçlanan bir çalışmanın çıktılarınca geleceğin fabrikalarında çalışacak iş gücünün teknik nitelik ve beceri, kişisel nitelik ve beceriler bakımından geliştirmeleri gereken becerileri zorunlu, gerekli ve olabilir olarak 3 seviye altında incelenmiştir. Rapor kapsamında teknik niteliklerde zorunlu beceriler altında bilişim teknolojileri bilgi ve becerileri, istatistiki bilgi, veri ve bilgi işleme analizi, kurumsal işleyiş ve süreçlere ilişkin kavrama yeteneği, modern arayüzler ile etkileşime girebilme becerisi; gerekli olan becerilerde bilgi yönetimi, imalat faaliyetleri ve süreçleri hakkında uzmanlık bilgisi, bilişim teknolojileri güvenliği ve verilerin korunması hakkında farkındalık, teknoloji ve örgütlenme hakkında disiplinler arası genel bilgi; olabilir kategorisi altında sıralanan becerileri ise hukuki işlere yönelik bilgi ve anlama yetisi, ergonomi hakkında farkındalık, teknoloji hakkında uzmanlık bilgisi, bilgisayar programlama ve kod yazımı konularındaki yetiler olarak sıralanabilir. Aynı rapor kapsamında kişisel niteliklerde zorunlu beceriler altında ise öz yönetim ve zaman yönetimi, sosyal beceriler, iletişim becerileri, ekip çalışması becerileri, değişimlere ayak uydurma becerisi; gerekli olan becerilerde yeni teknolojilere güvenme,

sürekli gelişim ve yaşam boyu öğrenmeye yatkınlık gibi yetileri sıralayabiliriz (Anonim, 2017h).

Kiel Dünya Ekonomi Enstitüsü tarafından yapılan bir çalışmada dijitalleşme ile artan otomasyon sonucu iş ile ilgili istatistikleri cinsiyet düzeyinde yorumlamışlar ve rapora göre artacak olan otomasyon ile kadınların işlerini kaybetme riski erkeklere göre daha düşük olacağı ön görülmüştür. Buna örnek olarak İngiltere sınırları içerisinde kadınların %44'ü ve erkeklerin %37'si otomasyon kökenli olarak kaybolma riski düşük olan işlerde çalışmaktadır (Sorgner ve diğerleri, 2017). Türkiye'de de otomasyondan etkilenmeyecek alanlarda çalışan kadınların sayısının toplam kadın istihdamına oranı erkeklerinkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Artan otomasyon ile işler üzerinde kaybolma riskleri farklı ülkelerin cinsiyetlerinde farklılaşmalar da göstermektedir. Örneğin Rusya'da kadınların yaklaşık %50'si otomasyon potansiyeli düşük işlerde çalışırken Güney Kore'de bu oran daha düşük olup kadınların yaklaşık %20'si otomasyon potansiyeli düşük işlerde çalışmaktadır.

4.1.1.2. Verimlilik

Azalan doğum oranı ve artan yaş ortalaması ile birlikte önümüzdeki 50 yıl içerisinde istihdamın altın çağına ulaşılacağı sonrasında ise iş gücünün giderek azalacağı tahminlenmektedir. Böyle bir senaryoda küresel büyüme hızını geçtiğimiz 50 yılın ortalamasında tutabilmek için en önemli parametre verimlilik artışı olacaktır. Dijital teknolojilerde kaynak kullanımı, süreç yönetimi, kalite yönetimi, stok yönetimi, işgücü verimliliği, arz-talep dengesi sağlanması, hizmetler, pazara iniş süresi, varlık kullanımı gibi süreçler ile verimlilik sınırları geleneksel yöntemlerin ötesine geçmektedir (Anonim, 2015e).

Dijital teknolojilerin etkileri sektör bazında farklı süreçlerde verimlilik artışlarında farklı etkiler gösterecektir. Buna örnek vermek gerekirse varlık yoğun bir sektör olan otomotiv sektöründe varlık kullanımını optimize edecek dijital teknolojilerin yaratacağı etki daha yüksek olurken kimya sektöründe kaynak ve süreç optimizasyonunu sağlayacak olan dijital teknolojilerin verimlilik artışına bulunacağı katkı daha yüksek olacaktır. Genel bir perspektiften bu dijital teknolojiler işletmenin Ar-Ge, yenilik, satış ve pazarlama işlevleri, tedarik zinciri yönetimi gibi süreçlerinde verimlilik artışlarını beraberinde getirecektir.

McKinsey Şirketi'nin 2015 yılında gerçekleştirdiği bir çalışmanın çıktılarınca büyük veri analizi ile müşteri odaklı üretimin %80-85 tahmin gücü ile arz/talep yönetimini; robot kullanımı ve otomatik süreç kontrolü ile %45-55 arası işgücü verimlilik artışı; bakımın sadece ihtiyaç halinde yapılması ve arızaların azaltılması ile ilgili %30-50 arasında varlıkların etkin yönetilmesi aşaması; akıllı depolama sistemleri ile %20-50 arasında stok maliyetinde düşüş ile stok yönetimi; üç boyutlu baskı makineleri ile hızlı prototipleme kısa ürün geliştirme süreleri ile %20-50 pazara erişim sürecinin kısaltılması; uzaktan erişim, kontrol ve tamir ile %10-40 arası bakım maliyetlerinde azaltma dolayısı ile satış sonrası hizmetlerde iyileşme; üretim aşamasında hataların kök nedenlerinin tespitleri ve çözümleri ile %10-20 arasında kalite maliyetinde düşüş ile kalite yönetiminde iyileşme; RFID teknolojisi ile konum tespiti ve otomatik stok siparişleri ile %3-5 arasında değişen verimlilik artışı ile süreç ve kaynak verimliliğinin artışı gerçekleştirilebileceği öngörülerinde bulunulmuştur (Anonim, 2015e).

4.1.1.3. Ülke Politikaları

Dijitalleşme ile ilgili farklı ülkelerin farklı politika, strateji ve tanımlamaları olup Japonya dijitalleşmeyi Toplum 5.0 olarak (Anonim, 2021), Avrupa Birliği ise Dijital Toplum Yaratmak (Anonim, 2015b) olarak betimlemiştir. Dünya Ekonomik Forumunun (WEF) 2016 yılında dijital dönüşüm ile ilgili yaptığı tahminlere göre 10 yıllık süreç içerisinde 100 trilyon dolarlık sosyal ve ekonomik değeri beraberinde getireceği öngörülmüştür (Cann, 2016). McKinsey Global Enstitüsü 2015 yılında sadece IoT'nin 2025 yılına kadar yaratacağı ekonomik değer 4-11 trilyon arasında olacağını tahminlemiştir (Anonim, 2015f).

Genel olarak ülkelerin imalat sanayi dijital dönüşümünde eğitim altyapısının geliştirilmesi, kullanıcıların desteklenmesi, ulusal tedarikçilerin desteklenmesi, veri iletişim altyapısının güçlendirilmesi gibi 4 ana konunun öne çıktığı görülmektedir. Bu konular dijital dönüşüm için gerekli olan ana eylem planları olarak da nitelendirilebilmektedir (Anonim, 2018e).

Dijitalleşme ile ilgili farklı ülkelerin politika uygulamalarına bazı örnekler vermek gerekirse:

- ✓ AB 2020 kapsamında Dijital Gündem hazırlamış olup sanayinin dijitalleştirilmesi konusunda stratejiler geliştirdi ve AR-GE, yenilik çalışmaları için 100 milyar dolar bütçeli bir hibe programını oluşturdu. Dijital Gündem kapsamında dijital tek pazarın oluşturulması, birlikte çalışılabilirlik, çevrim içi güven ve güvenlik, herkes için hızlı internet erişiminin sağlanması, araştırma ve yeniliğe yatırım, dijital okuryazarlığın, becerilerin ve kapsayıcılığın geliştirilmesi gibi 6 ana alanda politikalara yer verilmiştir.
- ✓ Almanya Endüstri 4.0 platformunu oluşturmuş ve “2025 Dijital Stratejisi”ni yayınlamıştır. 2025 Dijital Stratejisi altında bu tarihe kadar gigabit fiber optik ağı oluşturulması, yeni girişim döneminin başlatılması, düzenleyici çerçeveyi yatırımı ve yenilikleri destekleyecek şekilde oluşturulması, ekonominin kilit ticari altyapı alanlarına yönelik akıllı ağların teşvik edilmesi, veri güvenliğinin güçlendirilmesi ve bilgiye dayalı otonomluğun geliştirilmesi, KOBİ’ler için yeni iş modellerine imkan sağlanması, Endüstri 4.0’den faydalanılarak modern bir üretim bölgesi haline gelmesi, dijital teknoloji AR-GE ve yenilikleri ile ilgili çalışmaların gerçekleştirilmesi, dijital eğitimin başlatılması, mükemmeliyet merkezi olarak Dijital Ajans’ın oluşturulması gibi hedefler belirlenmiştir.
- ✓ Hollanda kendi dijital dönüşüm stratejisini hazırlamış ve Field Lab adı verilen dijital mükemmeliyet merkezleri ağı oluşturmuştur.
- ✓ İngiltere Catapult merkezleri ile dijital dönüşümü desteklemektedir. Ayrıca Sanayi Stratejisinin 5 bileşenini oluşturan fikirler, insanlar, altyapı, iş ortamı ve mekânsal gelişim başlıklarının her birinin altında dijital dönüşüm teması detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.
- ✓ Çin “Made in China 2025” stratejisini hazırlamış, mega fonlar ile dijitalleşmeye destekler sağlanmakta ve 1600 firma için yaklaşık 230 milyar dolarlık bir bütçede girişim sermayesi fonu oluşturmuştur. Bu fonlar sayesinde ülkenin bir taraftan Ar-Ge ve yenilik altyapısı güçlenirken diğer taraftan işletme yatırımları finanse edilecektir. Sanayilerinde öncelikli olarak ileri bilgi teknolojileri, uzay ve havacılık teçhizatı, robotik ve otomasyon, modern demiryolu teçhizatı, denizcilik teçhizatı ve yüksek teknolojlili gemicilik, ulaştırma araçları ve donanımları, tarımsal teçhizat, güç teçhizatı, yeni malzemeler ve biyolojik ilaç ile ileri tıbbi cihazlardan oluşan 10 alan seçilmiştir (Anonim, 2018e).

- ✓ Japonya Toplum 5.0 kavramını tanıtmış ve dijital dönüşümün ekonomi ve toplumun dönüşümü olarak nitelendirmişlerdir.
- ✓ Fransa “Geleceğin Sanayi Stratejisi” ni hazırlamış, bu aşamada kritik teknoloji ve sektörler için bazı stratejiler geliştirilmiş ve Geleceğin Endüstri Programı için 10 milyar dolarlık bir kredi bütçesi ayırmıştır.
- ✓ Güney Kore “Akıllı Sanayi Stratejisi” ni hazırlamış ve eklemeli imalat alanında kalifiye bir tasarımcı ekibi yetiştirmektedir.
- ✓ ABD “Amerika Üretiyor” isimli programını başlatmış ve “Ulusal İmalatta Yenilik Enstitüleri Ağı” nı kurmuştur. “Ulusal Yapay Zeka Araştırma ve Geliştirme Stratejik Planı”nı 2016 yılında yayımlamıştır (Anonim, 2019h).

Ülkemizde imalat sanayinin dijital dönüşümü sürecinde KOBİ’ler, Organize Sanayi Bölgeleri, Teknoloji Geliştirme Bölgeleri, Ar-Ge Merkezleri faaliyetleri oldukça önemlidir. 2021 yılı için mevcut Organize Sanayi Bölgesi sayısı 353 iken, Teknoloji Geliştirme Bölgesi sayısı 89 (Anonim, 2021b) olarak dikkat çekmektedir. TÜİK 2019 yılı Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişim İstatistikleri raporuna göre 2019 yılı için toplam girişim sayısının %99,8’i, istihdamın %72,4’ü personel maliyetinin %51,8’i, cironun %50,4’ü üretim değerinin %44,1’i ve faktör maliyeti ile katma değer %44’ünü oluşturan KOBİ’lerin %12,4’ü imalat sanayide faaliyet göstermiştir (Anonim, 2019g). Aynı rapor verilerince imalat sanayinde 2 153 KOBİ yüksek teknoloji ile çalışmış, KOBİ ihracatının %91,4’ünü ise yine imalat sanayi oluşturmuştur. Dijitalleşme ile birlikte KOBİ’ler için kalifiye işgücünün, rekabet edilebilirliğin ve finansman ihtiyaçlarının artışı beklenmektedir. Dolayısıyla yenilikçilik, Ar-Ge, üretim altyapıları gibi konuların KOBİ’ler için güçlendirilmesi ve girişimcilik ekosisteminin daha efektif bir yapıda buluşturulması gereklidir. Öte taraftan imalat sanayi ile ilgili faaliyetlerde bulunan KOBİ’lerin belli bir kısmı OSB’lerde ve Ar-Ge faaliyetlerinin yoğun gerçekleştiği KOBİ’ler ise TGB’ler de konumlanmıştır. Her iki bölge tipi için de son yıllarda gözlenen grafikte artışlar meydana gelmektedir. TGB’lerdeki işletmelerde dominant olarak yapay zeka, büyük veri ve ileri analitik ile sanallaştırma alanlarında projeler yürütüldüğü dikkat çekmektedir (Anonim, 2018e). T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı web sitesince 2021 yılı için Türkiye genelinde 1229 Ar-Ge Merkezi, 360 Tasarım Merkezi ve 87 adet Teknoloji Geliştirme Bölgesi bulunmaktadır. 2018 yılında TGB firmalarındaki dijital teknoloji projelerinin dağılımına bakıldığında %26,6’sı yapay zeka, %19,8’i büyük veri

ve ileri analitik, %17,5'i sanallaştırma (arttırılmış/sanal gerçeklik), %13'ü bulut bilişim, %7,6'sı IoT, %6,2'si siber güvenlik, %3,7'si endüstriyel otomasyon ve robotik teknolojiler, %3,7'si yeni nesil (akıllı) sensör teknolojileri, %1,9'unun eklemeli imalat ile ilgili olduğu görülmektedir. 2018 yılı için Ar-Ge Merkezlerinde yürütülen dijital teknoloji projeleri dağılımının ise %17,6'sı yapay zeka, %25,6'sı büyük veri ve ileri analitik, %12'si sanallaştırma (arttırılmış/sanal gerçeklik), %6,4'ü bulut bilişim, %12'si IoT, %3,2'si siber güvenlik, %5,6'sı endüstriyel otomasyon ve robotik teknolojiler, %6,4'ü yeni nesil (akıllı) sensör teknolojileri ve %11,2'sinin eklemeli imalat alanlarında olduğu görülmektedir.

Dijitalleşmenin sektörel olarak net ekonomik faydasına bakıldığında toplumsal ve endüstriyel etkileri olarak ikiye ayırmak mümkündür. Dünya Ekonomik Forumu 2016-2025 yılı tahminlerince toplumsal ve endüstriyel etkilerin altında tüketici, otomotiv, lojistik, elektrik, telekom, havacılık, petrol ve gaz, medya, madencilik, kimya olmak üzere 10 başlık incelenmiştir. Bu sektörlerin toplumsal açısından sağlayacağı katkılarının tüketici 5 439 milyar \$, otomotiv 3 141 milyar \$, lojistik 2 393 milyar \$, elektrik 1 741 milyar \$, Telekom 873 milyar \$, havacılık 705 milyar \$, petrol ve gaz 637 milyar \$, medya 274 milyar \$, madencilik 106 milyar \$, kimya 2 milyar \$; endüstriyel açılarından sağlayacağı katkılarının ise tüketici 4.877 milyar \$, otomotiv 667 milyar \$, lojistik 1 546 milyar \$, elektrik 1 360 milyar \$, Telekom 1 280 milyar \$, havacılık 405 milyar \$, petrol ve gaz 945 milyar \$, medya 1 037 milyar \$, madencilik 321 milyar \$ ve kimya 308 milyar \$ olacağı öngörülmüştür.

4.2. Otomotiv Sektörü ve Dijital Dönüşümü

Endüstri 4.0 ile otomotiv sektörünün tüm değer zinciri sürekli bir dijitalleşmeye ayak uydurmak durumunda kalmıştır. Endüstri 4.0 otomotiv endüstrisindeki dijital dönüşüm olanaklarını genişletmekle kalmayıp orijinal ekipman üreticileri, tedarikçileri, bayileri, finans kuruluşları ve ulaşım ekosisteminde çalışan diğerleri için önemini de artırmıştır.

Değer zincirindeki şirketler, birleşik ve bağlantılı dijital ve fiziksel teknolojilerin (yapay zeka, Nesnelerin İnterneti, eklemeli üretim, robotik, bulut bilişim ve diğerleri,) gücünden yararlanarak daha esnek, verimli, duyarlı hale geliyor ve işlerin koordinasyonu,

müşterilerle olan etkileşimleri ve ürün ile hizmetlerin sunulma kavramları yeniden şekillendirilmektedir.

Otomotiv değer zincirinin tüm paydaşları, bağlantılı, otonom, paylaşılan ve elektrikli araçların gerçeğe dönüştürülmesi için milyarlarca dolar harcamakta, çoğu otomobil üreticisi bu sürecin gerisinde kalmaktan çok endişe duymakta bu nedenle aynı anda birden fazla AR-GE faaliyetlerini yürütmektedirler.

Sanayi ile ilgili politikalar günümüzde birçok ülkede (Fransa, ABD, Japonya ve Çin vb.) modernize edilmekte ve işyerlerinin korunup eski haline getirilmesi, dünyadaki rekabet gücünün ve katma değer artırılması gibi konularda ulusal ekonomiler bu politikaları Dördüncü Sanayi Devrimi'nin gereksinimlerini içerecek şekilde düzenlenmesini amaçlamaktadır (Berger, 2016).

Endüstri 4.0 ile işlerin yürütülme şekli önemli ölçüde değiştireceğinden, bu yeni teknolojilerin çeşitli bölgelerde yerel ekonominin büyük bir bölümünü oluşturan ve başarılı ve sürdürülebilir kalkınmaları için kritik önem teşkil eden KOBİ'ler ve girişimciler üzerine etkileri ayrıca önemli olmaktadır (Gwosdz ve diğerleri, 2020).

Otomotiv endüstrisinde hızlı teknolojik değişimler sektördeki firmaların için çeşitli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. İnovasyonun ivmelenmesi, ürün yaşam döngülerinin kısalması ve gelecekteki gelişmelerin tahminlenmesindeki belirsizlik ölçütünün artması sektörde büyük bir rekabet ortamı yaratmaktadır (Anonim, 2019b). Bu rekabet ortamından sıyrılabilmek için sektördeki oyuncular teknolojik olarak yaşanan değişimlere hızlı tepkiler verebilmeli, geliştirme sürelerini kısaltmalıdır. Bu kapsamda Endüstri 4.0 teknolojileri, daha önceden de belirtildiği üzere üretkenlik, verimlilik, esneklik ve kalite açısından üretim sürecinde bir takım gelişmeler sağlayarak otomotiv sektörünün rekabet gücünü korumasında stratejik bir rolü üstlenmektedir (Arcidiacono ve diğerleri, 2019).

Tüketici perspektifinden bakıldığında otomotiv sektörü ile ilgili beklentileri maliyetlerin azaltılması, geliştirme sürelerinin kısaltılması ve aynı zamanda kalite standartlarının karşılanmasını sıralayabiliriz. Sektördeki rekabet ortamı daha önceden de bahsedildiği üzere Endüstri 4.0'ı bir zorunluluk haline getirmektedir.

Endüstri 4.0; Siber-Fiziksel Sistemler (CPS), Nesnelerin İnterneti (IoT), Robotik, Büyük Veri ve Bulut Bilişim gibi teknolojilerin üretim süreçlerindeki uygulamalarını içermektedir. Bu tarz bir üretim anlayışının amacı herhangi bir insan müdahalesi olmaksızın üretim süreçlerinde ürün ve makinelerin etkileşime girdiği esnek ve verimli üretim modelleri oluşturmaktır (Xu ve diğerleri, 2018; Frank ve diğerleri, 2019).

Diğer sektörler ile kıyaslandığında otomotiv sektörünün, Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanımı çok daha ön sıralarda yer almaktadır. Sektör içerisinde bu yeni teknolojiler, genellikle büyük firmalar için otomobil bileşenleri, parçalar ve alt montajlar ile ilgili kısımları tedarik eden KOBİ'lere oranla büyük şirketlerde çok daha geniş uygulama alanı bulmaktadır (Arcidiacono ve diğerleri, 2019). Süreç içerisindeki tam değer yaratımı ancak tedarik zinciri boyunca ileri teknolojilerin aktif uygulama alanı bulması ile mümkün olabilmekte ve bu şekilde her bileşen de kendi iç değer yaratım sürecini optimize edip daha kaliteli ve ekonomik ürünün piyasaya sürülmesinde ve dolayısıyla ortamdaki rekabetçiliğin artışında rol oynamaktadır.

Endüstri 4.0 bileşenleri vasıtasıyla verilerin eş zamanlı olarak kullanılabilirliği aynı zamanda şirketler arası bağlantıları ve iş birliğine dayalı tedarik ağları oluşturulmasında oldukça önemli olup şirketlerin envanter, kalite, üretim programları ile ilgili eş zamanlı verilerin paylaşılması ortaklar arasındaki koordinasyonu güçlendirir ve tedarik zinciri maliyetini de düşürür (Pereira ve Romero, 2017).

Endüstri 4.0'ın günümüzde kendinden sıkça bahsettirmesiyle aynı zamanda toplu taşıma da büyük ölçüde etkilenmeye başlamıştır. Bu kapsamda kişisel ulaşımda kullanılabilir otonom araçlar ve paylaşılan araçlar günümüzdeki geleneksel taşımanın (kişisel ya da toplu) seyrini değiştirmekte olan iki eğilim olarak karşımıza çıkmaktadır (Greenblatt ve Shaheen, 2015). Bu yeni eğilimlerin kökünde insan karar alma mekanizmasının bilgisayar algoritmalarıyla değiştirilmesi yatmakta (Greenblatt ve Shaheen, 2015) dolayısıyla bu teknolojilerin yaygınlaşması ile insanın insan hayatındaki rutin rollerinden sıyrılabilmesi ve hayat kalitesinin arttırılması bahsi geçen otomasyon ile mümkün hale gelebilecektir. Hatta Endüstri 4.0'ın dönüştürücü gücündeki potansiyel ile ilgili kişisel ulaşımda kullanılan neredeyse tüm araçların içinde bulunduğumuz yüzyılın ortasına kadar otonom hale geleceği tahmin edilmektedir (Greenblatt ve Shaheen, 2015).

Otonom araçlar, yolun algılanmasını, rota bilgilerini ve araç kontrolünü garantileyen sensörlerin desteğiyle insanların veya nesnelerin önceden belirlenmiş hedefe taşıyan akıllı araçlar olarak tanımlanabilir (Walker ve diğerleri, 2001; Levinson ve diğerleri, 2011; Baruch, 2016; Zhao ve diğerleri, 2018).

Otonom sürüş ile bunun ulaşım davranışı ve altyapısı üzerindeki potansiyel etkilerine odaklanan araştırmalar (Nielsen ve Haustein, 2018) otonom araçların trafik akışı ve altyapı performansı üzerindeki olası etkilerine odaklanan çalışmalar (Aria ve diğerleri, 2016) ulaşım sektöründeki araştırmaları domine etmektedir.

4.2.1. Otomotiv 4.0 ve Tüketici Davranışları

Araçların otonom gelmesi ile potansiyel kazaların minimize edilmesi, yakıt ekonomisinde gözlenecek iyileşmeler, daha az trafik sıkışıklığı ve daha kısa seyahat süreleri gibi potansiyel faydaları tüketiciler tarafından olumlu bir şekilde karşılanırken sistemde ya da ekipmanlarda oluşabilecek hatalar ve gizlilik sorunları hakkında da bazı endişeler ortaya çıkmaktadır (Schoettle ve Sivak, 2014; Ilková ve Ilka, 2017).

Özetlenecek olursa elektrikli araçların kullanımlarının yaygınlaşması ile güvenlik artışı, verimli yol kullanımı, sürücü üretkenliğindeki artış ve enerji tasarrufu, park gereksinimlerinde azalış, trafik akışının düzenlenmesi, trafikten kaynaklanan hava kirliliğinin önüne geçilmesi gibi faydalarından bahsetmek mümkündür (Folsom, 2012; Brown ve diğerleri, 2014; Morrow ve diğerleri, 2014; Anderson ve diğerleri, 2016). Tüketicilerin otonom araçları kabul etmesi cinsiyeti, yaşı, geliri, teknoloji konusunda farkındalık düzeyi (Becker ve Axhausen, 2017), psikolojik ve sosyo-ekonomik faktörlerden (Nordhoff ve diğerleri, 2016) etkilenmektedir. Yapılan çalışmalar büyük bir kısmının otonom araçlara pozitif yaklaşımını gösterirken kayda değer miktarda bu teknolojiye geçişe direnç gösterdiğini raporlamıştır (Kyriakidis ve diğerleri, 2015; König ve Neumayr, 2017).

Teknolojiye direnç gösteren tüketicilerin otonom araçlar ile ilgili etkileyen iki önemli faktör sürücüsüz araçların performansından doğan güvenlik endişeleri (Schoettle ve Sivak, 2014) ile veri gizliliği ve sürüş kontrolü ile ilişkili olan güvensizlikten (Howard ve Dai, 2014; Kyriakidis ve diğerleri, 2015) kaynaklanmaktadır. Şirketler bu süreçte bu faktörleri dikkate alarak stratejiler geliştirmelidir.

4.2.2. Otomotiv 4.0 ile İlgili Çalışmalar

Otomotiv sektöründe ürün yelpazesi ve pazar bakımından birbirine benzer özelliklere sahip iki orta ölçekli firma ile ilgili vaka çalışmasının irdelendiği bir araştırmada firmaların Endüstri 4.0 için başlangıç yatırımları benzerlik gösterdiği fakat izledikleri farklı stratejiler ile Endüstri 4.0 ile farklı derecelerde başarıyı yakaladıkları, dolayısı ile Endüstri 4.0 kadar çizilecek stratejilerin de bir hayli önemli olduğunun altı çizilmiştir (Arcidiacono ve diğerleri, 2019).

Bu çalışmada Endüstri 4.0 adaptasyonunda ilgi çeken üç ana başlık teknolojik, organizasyonel ve çevresel faktörler altında özetlenmiştir. Teknolojik faktörler içerisinde IT altyapısı, çoklu standartların varlığı, mevcut teknolojilerin farklı teknolojiler ile birlikte getirdiği komplekslik, konuya yönelik uzmanlaşmış insan kaynakları mevcudiyeti sıralanmışken organizasyonel faktörler kapsamında finans kısıtları, üst yönetim taahhüdü, destekleyici organizasyon kültürü, çalışanların değişikliği kabul etmesi gibi noktalara değinilmiş ve son olarak çevresel faktörler içerisinde müşterilerden gelen fiyat baskıları ve güç dengesizliği, alıcılar ile yapılan işbirliği, rekabet ortamı, teknoloji tedarikçileri ile ilişki, kurumsal faktörler gibi parametrelerin denklemdeki önemi vurgulanmıştır (Arcidiacono ve diğerleri, 2019). Bahsi geçen çalışmada taraflar ile yapılan görüşmelerde BT altyapısı eksikliği, uyumluluk sorunları ya da teknolojik çözümlerin yüksek arama maliyetlerinin engel olarak görülmediği asıl sorunların organizasyonel faktörler altında farklılaştığı görülmüştür. İhtiyaca yönelik reaktif yaklaşımın getirdiği teknolojiye adaptasyon ile pro-aktif bir şekilde olaya bakış açısı geliştirmek arasında büyük farklılıklar olduğu ve pro-aktif yaklaşım ile Endüstri 4.0 uygulamalarında başarılı bir şekilde adaptasyonun gerçekleşebildiği aynı zamanda personellerinin inovatif çalışmalarını destekleme kültürü olan, teknolojiye yatırım yapmaya hevesli şirketlerin süreci daha iyi yönetmeleri mümkün olabilmektedir. Çalışmanın önemli bir çıktısı olarak şirketlerin dijitalleşmesinde makine ve sistemler ile ilgili adaptasyondan daha çok şirket çalışanlarının bu sürece uyum sağlamaları büyük engel teşkil etmekte sürecin iyi yönetilmesi konusunda çalışanlar kilit rol oynamaktadır. Çalışma ile dijitalleşmenin başarılı bir şekilde uygulanması aşamasında diğer bir önemli parametrenin organizasyonel faktörler ile ilgili olan şirket personeline yapılan eğitim yatırımları yani şirketin beşeri sermayesi oluşturmaktadır. Brezilya’da gerçekleştirilen bir

anket çalışmasında ise otomotiv sektörünün yatırım öncelikleri ve Endüstri 4.0 yatırımları incelenmiş ve bu kapsamda önceki çalışmaya benzer olacak şekilde iş gücünün eğitimi dijitalleşmenin önüne geçen en önemli sorunlardan biri olduğunun altı çizilmiştir. Çalışmanın diğer önemli bir çıktısı ise Brezilya’da otomotiv sektörünün Endüstri 4.0 teknolojisine yönelik yatırım stratejilerinden ziyade mevcut koşullarda pazarda ayakta kalmaya odaklandığı şeklinde raporlanmıştır (Ruggero ve diğerleri, 2019).

Bir diğer çalışmada Endüstri 4.0’ın Polonya yerli sermaye şirketleri üzerine uygulanması kapsamındaki zorluklar yönetim, insan ve sosyal sermaye, teknoloji ve finans olmak üzere dört ana başlık altında toplanmıştır. Bunlardan yönetim ile ilgili olarak ana engeller:

- ✓ İşbirliğine düşük düzeyde açıklık
- ✓ Düşük seviyede proje ve süreç yönetimi
- ✓ Yöneticiler arasında BT araçlarının düşük düzeyde kullanımı

olarak sıralanırken insan ve sosyal sermaye ile ilgili ana engeller:

- ✓ Düşük sosyal sermaye
- ✓ Girişimciler arasında karşılıklı güven eksikliği ve hatta bazen karşılıklı düşmanlık
- ✓ İşbirliği yapma isteksizliği
- ✓ Riskli yatırımlar üstlenmekte cesaret eksikliği
- ✓ Genç otomotiv uzmanlarının eksikliği ve teknolojiyi kullanacak kişilerin ortalama yaşlarının yüksek olması
- ✓ Seçkin insanların dışa göçü (bir nevi beyin göçü)

olarak sıralanmaktadır. Teknoloji alanındaki engellere bakıldığında KOBİ’ler ve Ar-Ge birimleri işbirliğindeki çok zayıf katılım raporlanmıştır. Finans ile ilgili ana engeller ise:

- ✓ Otomotiv şirketlerinde yeniliğin araştırılması ve uygulanması için düşük fon mevcudiyeti
- ✓ Şirketlerin düşük ve gittikçe düşen karlılığı (2012’de %7 yedi, 2018’de %4’ün altına)
- ✓ KOBİ’lerin dış finansmana zor erişimleri

olarak sıralanmıştır (Gwosdz ve diğerleri, 2020).

Aynı çalışmada Polonya otomotiv endüstrisinden seçilen ve Endüstri 4.0 uygulamalarına geçiş yapmış bazı şirketlerin yöneticileri ile yapılan röportajda verilen bazı şirket verileri Çizelge 8 eşliğinde şu şekilde özetlenmiştir:

Çizelge 8. Polonya sermayeli seçilmiş otomotiv şirketlerinin Endüstri 4.0 uygulamasının sonuçları (Gwosdz ve diğerleri, 2020).

Uygulamanın arkasındaki motivasyon	Uygulanan ana teknoloji	Sonuçlar
Tam otomasyonu ve katma değer zincirinde bir üst seviyeye geçişi hedefleyen şirketin uzun vadeli stratejisi	1) CPS veri toplama ve analizi 2) Tam otomatik gazlı gazlı kaput/bagaj amortisörü üretim hattı	1) Üretim sürecinde ve ürün kalitesinde iyileşme (kalitede artan istikrar) 2) Çalışan sayısını azaltırken çalışanların beceri düzeylerinin artırılması 3) Daha düşük atık miktarı
1) Şirketi diğer tedarikçiler arasında ayırt etme isteği 2) Batıdaki müşteriler arasında şirketin prestijini yükseltmek, 3) Artan üretim kapasitesi 4) Zorlu bir teknolojik süreçte tekrarlanabilir kalitenin sağlanması	1) Tam otomasyon ve robotik kaynak hattı 2) CPS veri toplama ve analizi	1) Proses kontrolü üzerinde artış ve üretim maliyetinin optimizasyonu 2) Servis çalışmasında komfor, ekip becerilerinin artması 3) Müşterilerin gözünde yüksek ürün kalitesinin doğrulanması
1) Deneme olarak uygulandı 2) İşçilik maliyetlerinin azaltılması	1) Termoplastik malzemeler için tam otonom işleme hattı 2) Enjeksiyon kalıplama proseslerinin merkezi yönetimi için IT birimi 3) Gelişmiş kalite kontrol sistemleri 4) CPS veri toplama ve analizi	1) Üretim döngüsünün tekrarlanabilirliğinin elde edilmesi 2) Zaman yönetimi 3) Teknolojik üretimdeki istikrar 4) Kayıp, arıza ve kusurlardan tasarruf 5) Bilgi akışındaki iyileşme (şikayetlere yanıt verilmesini kolaylaştırmak)

4.2.3. Sektör içinden Örnekler

Endüstri 4.0'ın getirdiği büyük veri ve bulut teknolojilerinin oyuna dahil olması ile Volkswagen, tedarikçisi olduğu ürünlerin ve üretim verilerinin depolanacağı kendi endüstriyel bulutunu oluşturmak için Amazon Web Services ile ortaklık kurmuştur.

Endüstri 4.0'ın diğer bileşenlerinden olan yapay zeka, siber-fiziksel teknolojiler ile ilgili olarak Audi, Macaristan'daki fabrikasında, yapay zeka tarafından kontrol edilen Otomatik Yönlendirmeli Araçlar (Automatic Guided Vehicles)'ın üretimine imkan veren yeni bir modüler üretim konseptini tanıtmıştır.

Üretimdeki verimliliğin yanı sıra tüketiciler için değer yaratımı da otomotiv sektöründe oldukça önemlidir. Buna örnek olarak Mercedes'in Sindelfingen tesisindeki birbirine bağlı, esnek ve yüksek düzeyde otomatikleştirilmiş üretim hatlarının, S-Serisi araçlarını sipariş eden müşterilere sonsuz ürün özelleştirme olanakları sunması verilebilir.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte otomobillerin içerisinde kullanılan akıllı ürünler otomobillerin hesaplama yeteneklerini, çevre ile daha iyi etkileşime girmelerini olumlu şekilde etkilemekte, otomobil kullanımı süresince durumu ve kullanım koşulları ile ilgili verilerin toplanması ve paylaşılması konusunda sonsuz fırsatlar sunmaktadır. Bu aşamada bazı lastik üreticileri lastik performansının izlenmesi ve ölçülmesi adına nesnelerin interneti kısmında anlatılan sensör teknolojileri ve yazılım platformları ile ilgili deneyler gerçekleştirmektedir. Continental firmasının ticari filolar için geliştirdikleri lastik izleme dijital formu olan ContiConnect buna örnek olarak verilebilir. Bu platform ile düşük bakım maliyetleri, daha uzun kullanım süreleri, yakıt tasarrufu gibi parametrelerin kontrolü, izlenebilirliği sağlanarak şirketlere katkıda bulunmaktadır. Bunu iç astara yerleştirilen sensörlerden çekilen lastik basıncı ve sıcaklık verilerinin web portalına aktarılması ile sağlamakta ve olası kazaların ya da yüksek maliyetlerin önüne geçilmektedir (Continental, 2021).

4.3. Lojistik Sektörü

Lojistik kelimesi Yunan kökenli olup logos kelimesinden türetilmiş ve Türkçeye hesap yapma becerisi olarak çevrilebilmektedir. Tarih sahnesinde ilk kullanımının askeri birlikler için olup günümüzdeki kullanımı toplum refahını sağlayabilmek adına ürünlerin son kullanıcıya varma aşamasında tüm aksiyonların planlanıp organize edilmesi ve sürecin en uygun şekilde işlemesine evrilmiştir (Çancı ve Erdal, 2003; Gülen, 2010).

Lojistik sektörü bünyesinde barındırdığı stok yönetimi, depolama, sipariş işleme, kuruluş yeri seçim ve yönetimi, trafik ve rota yönetimi, tahminleme, ulaştırma, koruyucu ambalajlama gibi alt dallarıyla çoklu kontrol noktaları barındırmaktadır. Ticari ağların

coğrafyalar üzerinde genişleyip küresel boyut kazanması lojistik sektörünü sürekli gelişmelere itmektedir. Şirketler için de rekabet gücünü arttıran en önemli etkenlerden birisi olması nedeni ile teknolojik gelişmelerin takibi hem şirket içi yönetim süreçlerindeki kontrol yönetimindeki kolaylık ve kesinlik hem de tüketicinin memnuniyeti açısından önem arz etmektedir. Türkiye açısından bulunduğu coğrafya da dikkate alındığında küresel anlamda ekonomik etkilerinin barındırdığı potansiyel ile lojistik sektörü ayrıca önemli olup yeni teknolojilerin uygulanması ve güncel sistemlerin entegrasyonu küresel anlamda kilit oyuncu durumuna getirebilecektir.

Günümüzde otomobiller kendi kendine park etme, tehlike algılama gibi destekli sürüş özellikleri, kendi kendine sürüş modellerine kadar çok sayıda dijital geliştirmeyi içermekte. Gelecekte, araç otomasyonu ile birlikte toplu taşımanın doğası bile dönüştürülebilir.

Bununla birlikte, ulaşım sektöründeki dijitalleşmenin etkisi sadece inovatif ürünlerde değil, aynı zamanda yeni iş modellerinin geliştirilmesinde, yani araç paylaşım hizmetlerinde de belirgindir.

Gelişen teknolojiler, kullanıma dayalı sigorta gibi daha sağlam GPS tabanlı hizmetlere izin verdiğinden, dijitalleşme aynı anda araç üretiminde verimliliği arttırmakta ve insanların otomobilleri araştırma ve satın alma yöntemlerini değiştirmektedir.

4.3.1. Lojistik Sektörünün Dijital Dönüşümü

Lojistik sektörünün gelişmesinde internetin rolü artarak devam etmektedir. İnternetin yaygınlaşması ile gelişen e-ticaret sektörü küçük ve büyük işletmeler arasındaki farkı ortadan kaldırmış ve rekabetçiliğin yanında ürün taleplerini de beraberinde getirmiştir. İnternet ile müşteriler az efor ile sağlayacakları hizmet yada ürüne daha hızlı ve kolay ulaşabilmekte hatta bu ürünlerin kendilerine ulaşana kadar geçen süreçte daha fazla kontrol sahibi olmaları memnuniyet bakımından oldukça önemlidir. Dolayısıyla bu sürecin iletişimsel anlamda iyi yönetilebilmesi lojistik firmaları için elzem durumdadır. Günümüzde süreç internetten verilen siparişin sisteme düşmesi ile birlikte sipariş ile ilgili teslim edilme süresi ve bu süreçte kimler ile iletişimde kalınması gerektiği gibi bilgiler e-posta yolu ile müşteriye aktarılmakta aynı zamanda verilen kod yada barkodlar vasıtası ile ürünlerinin nerede olduğu takip edilebilmektedir. Ayrıca günümüzde müşteriler daha

şeffaf tedarik zinciri ve doğru zaman-yer-miktar ve ücrette doğru ürüne ulaşmayı talep etmektedir. Bilişim teknolojilerinin karayolu taşımacılığında bir maliyet unsuru olarak görülse de iletişim, zaman yönetimi, zamanın efektif kullanımı, araçların daha az mesafe katetmesi, etkin yükleme operasyonu yönetimi, farklı karayolu taşımacılığı yapılabilmesine olanak tanınması gibi birçok olumlu etkisi bulunmaktadır (Çağlar, 2014).

Etkili ve güçlü bir lojistik 4.0 sistemi; kaynak planlaması, depolama yönetim sistemleri, trasportasyon yönetim sistemleri, akıllı trasportasyon sistemleri ve veri güvenliği gibi ana başlıkları içermelidir (Barreto ve diğerleri, 2017).

Siber fiziksel yöntemlerin sisteme entegrasyonu ile toplam üretimde artışlar meydana gelecek, tedarik zincirinde oluşacak değişimlere daha çevik ve esnek cevaplar verilebilecektir.

Lojistik 4.0 için bahsedilen kaynak planlaması; artan şeffaflık ile müşteri, materyal ve ekipman bazında kaynak tahminlemesi ve proseslerin optimizasyonuna yönelik bir yaklaşımdır.

Lojistik 4.0 kavramının etkin bir şekilde işleyebilmesi için lojistik sektörü için en önemli parametrelerden biri olan depolama alanlarının yönetimi kritik rol oynamaktadır. Teknolojinin entegrasyonu ile nakliyenin konum ve tahmini varış zamanı, tam zamanında teslimatı optimize ederek akıllı depo yönetim sistemine otomatik iletimi sağlanabilecek; RFID sensörleri ile neyin teslim edildiği anlaşılacak ve takip ve izleme verileri tüm tedarik zincirine gönderilebilecektir. Dolayısı ile depo yönetim sistemi teslimat özelliğine göre uygun depolama alanını otomatik olarak belirleyecek ve uygun ekipmanın malları otonom bir şekilde doğru konuma taşınmalarını yönetebilecektir. Nakil işleminin istenilen konuma ulaşması ile etiketler eş zamanlı olarak depo yönetim sistemi envanterine sinyaller iletecek, bilgileri güncelleyecek ve olası stok dışı durumları önceden önleyebilecektir. Depo yönetim sistemi ile günümüzde giderek lojistik faaliyetleri ve kompleks hale gelen lojistik yönetimi etkin bir şekilde yönetilebilecektir.

Lojistik 4.0 için diğer bir önemli uygulama trasportasyon yönetim sistemidir. Transportasyon yönetim sistemi nesnelerin interneti ile birlikte trasportasyonda ve lojistik endüstrisinde giderek artacak bir rol oynayacaktır (Atzori ve diğerleri, 2010).

Ürünlerde yaygınlaşan barkod, RFID tagleri, sensor teknolojileri gibi uygulamalar ile transportasyon ve lojistik şirketleri taşıdıkları ürünü eş zamanlı olarak izlemeleri ile üretim, taşıma ve dağıtım süreçlerinin başlangıçtan son adımına kadar tüm süreçte kontrol sahibi olabileceklerdir.

Ayrıca transportasyon yönetim sistemi altında karayolu taşıma için sürücü takip ve araç takip sistemlerinden de faydalanılmaktadır (Sayın ve Özcan, 2019). Araç takip sistemlerinde GPS ve SIM kart aracılığı ile araçtan konum, hız, yakıt, durum, sıcaklık gibi bilgiler teknik yöntemler ile sunucuda işlenerek bir arayüz vasıtası ile kullanıcılara sunulabilmektedir (Sayın ve Özcan, 2019).

Bunlardan GPS olarak bilinen uydudan alınan radyo sinyallerini üç boyutta konum belirlemede kullanılmasına dayanan global konum belirleme sisteminin kısaltmasıdır. Bu teknoloji karayolu taşımacılığı yapan şirketler için filolarının nerede olduğunu ve hedef noktaya ulaşma zamanlarının tahminlemek, filo bilgilerinin toplanıp sistemlerinde tutulması, taşımacılık altyapı tesislerinin haritalanması, gözetim ve olay yönetimi gibi faaliyetler için önem arz etmektedir.

Lojistik sektöründe araç takip sistemleri ile;

- ✓ Araçların varış güzergahları uygun noktalar üzerinden otomatik olarak belirlenip, varış süresi hesaplanabilmekte,
- ✓ Aracın anlık hızı ve konumu merkez tarafından kontrol edilebilmekte, olumsuz durumlar karşısında merkeze sms ya da e-posta yolu ile otomatik bilgilendirme yapılarak konu ile ilgili farkındalıkları çekilebilmekte,
- ✓ Araç şirketin belirlediği kurallar çerçevesinde duraklama süresi ve güzergaha bağlı olmadığı durumlarda merkeze aynı yollar ile haber verilmekte, varsa herhangi bir olumsuz durum anında müdahale edilebilmesine imkan tanımakta,
- ✓ Taşınacak ürüne bağlı olarak (gıda, ilaç vs.) soğuk zincir takibi gerekli ise uygun sensörler vasıtası ile merkeze otomatik olarak rapor oluşturulabilmekte, olumsuz sıcaklık ve nem gibi durumlarda merkez aynı şekilde uyarılarak duruma hızlı müdahaleleri gerçekleştirilebilmekte,

- ✓ Plaka, marka, tüketilen yakıt cinsi ve miktarı, sürücü bilgileri gibi tüm bilgilerin sistem içerisinde tutulması ile tüm bir proses kolay ve etkin bir şekilde yönetilebilmektedir.

Dolayısıyla lojistik sektörünün bu sisteme yapacağı yatırım ile 7/24 izlenen araç bilgileri ile kaza, çalınma vs. gibi durumların önüne geçilebildiğinden araç güvenliği sağlanır, şirketlerin oluşturduğu politikalara sürücülerin uyumu ve şirketler tarafından taşıma parametrelerinin daha rahat ve etkili kontrolü bakımından filo yönetimi iyileşir, araçların ve personelin izlenmesi ile birlikte amaç dışı kullanımların önüne geçilmesi zamandan ve maaliyetten tasarrufu sağlar. Böyle bir stratejinin uygulanması ile yapılacak tasarruflar ve artacak karlılık, şirketlerin rakipleri karşısında rekabet ortamı yaratacak, bu rekabet ortamı ile hem sektördeki yerlerini sağlamlaştıracaklar hem de müşterilerine geleneksel yöntemlerden daha hızlı, güvenilir ve esnek bir hizmet sunabileceklerdir.

Lojistik 4.0'ın başarılı bir şekilde hayata geçirilebilmesi için diğer bir teknoloji akıllı ulaşım sistemleridir. Akıllı Ulaşım Sistemi (ITS), ulaşım yönetimi, kontrol, altyapı, operasyonlar, politikalar ve kontrol yöntemleri gibi farklı ulaşım sistemleri alanları ile birlikte çalışan yeni bir alan olarak evrilmiştir. Bilgisayar donanımı, konumlandırma sistemi, sensör teknolojileri, telekomünikasyon, veri işleme, sanal operasyon ve planlama teknikleri gibi yeni teknolojilerden beslenir. Bu teknoloji, güvenlik ve güvenilirliğin artırılması, seyahat hızlarının, trafik akışının artırılması ve süreç esnasında oluşabilecek risklerin minimize edilmesi, kaza oranlarının düşürülmesi, karbon emisyonları ve hava kirliliğinin azaltılması için önemlidir. Bu teknolojinin tamamen operasyonel bir ortama dönüşmesi ile akıllı kamyon parkı, teslimat alanları yönetimi; çeşitli lojistik operasyonların desteklendiği farklı nakliye modları arasında planlama ve senkronizasyonu destekleyen multimodel kargo sistemleri, CO₂ ayak izi tahminlenmesi ve izlenmesi; yakıt tüketiminin azaltımı için öncelik ve hız tavsiyeleri, emisyonların azaltılması ve kentsel alanlarda ağır vasıtaların varlığının azaltılması; kamyon sürücülerini daha enerji verimli bir sürüş tarzını benimsemelerini ve dolayısıyla yakıt tüketimini azaltarak CO₂ emisyonlarını azaltmalarına olanak sağlayacak eko-sürüş desteği gibi senaryolar gerçekleşebilmesi mümkündür (Barreto ve diğerleri, 2017).

4.4. Gıda ve Tarım Sektörü

4.4.1. Gıda Sektörü ve Dijital Dönüşüm

Dijitalleşme gıda sektörü için de oldukça önemli olup dijitalleşme ve akıllı teknolojilerin kullanımını ile operatör ya da işçi kaynaklı hatalar minimize edilebilir, göz vasıtası ile öznel olarak saptanabilen ve gıda güvenliğini tehdit eden bazı durumlar makine görüşü gibi teknolojiler ile daha hassas ve objektif çözümlere ulaşılabilmektedir. Gıda sektöründeki dijitalleşmenin bir diğer ayağı da soğuk zincirin korunması vb. gibi konular ile bölüm 3.3' de bahsedilen lojistik sektörü ile yakından ilişkilidir. Gıda endüstrisinde yapay zeka ve makine öğrenmesi uygulamaları gıda güvenliği ve gıda güvencesi açısından oldukça önem taşımakta olup bu bölümde bu kavramların başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için potansiyel barındıran ve günümüzde uygulanan bazı teknolojilere değinilmiştir.

Gıda güvenliği, gıdanın fiziksel, kimyasal, biyolojik tehlikeler bakımından tüketici için risk oluşturmayacak şekilde gıdaların işlenmesi, hazırlanması, depolanması ve son tüketiciye ulaşımına kadar geçerli olan zincirde kontrol altına alınarak tarladan çatala gıdayı tüketiciye güvenli bir şekilde sunabilme sürecidir. Gıdaların bu süreçteki güvenlik durumlarının algılanabilmesi için hızlı ve gıdanın güvenliğini tespit ederken gıdaya zarar vermeyecek yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu aşamada hiperspektral görüntü işleme karşımıza yeni bir araç olarak çıkmaktadır. Hiperspektral görüntü işlenmesinin gıda sanayi uygulamalarını kızılötesi, floresan, raman ya da bir kaçının kombinasyonu oluşturmakta ve gıda güvenliğinin sağlanması aşamasında geleneksel yöntemlere göre güzel ve etkili bir alternatif oluşturmaktadır.

Vibrasyon spektroskopisi (Dufour, 2009) ışık ve materyaldeki moleküller arasındaki etkileşime bağlı olan optik teknolojidir. Farklı moleküllerin, ışığın farklı dalga boylarına duyarlılıkları vardır. Absorbsiyon ve saçılım sonrası ortaya çıkan spektrumlar bu moleküllerin bilgilerine karşılık gelen dalga boyları üzerinden kaydetmektedirler (Cen ve He, 2007; Sowoidnich ve diğerleri, 2010; Lu ve diğerleri, 2011)

Farklı bir deyiş ile spektrumdaki bu değişimlerin izlenmesi ve irdelenmesi ile gıda güvenliği için önemli olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelere ait bilgilere etkin bir şekilde ulaşılması mümkün hale gelmektedir. Ancak spektrofotometreler ile numunenin küçük bir kısmı analize alındığından numune içeriğinin homojen dağılmadığı durumlarda

spektrum tüm numuneyi temsil edememektedir. Bu aşamada mekânsal bilginin elde edilmesi aşamasında computer vision denilen bilgisayar görüşünden yararlanılmaktadır.

Bilgisayar görüşünde kırmızı, yeşil ve mavi kanallarının dijital ortamda kullanılmaları ile insan görüşü bir nevi taklit edilerek nesnelere özelliklerinin bilgileri elde edilmektedir. Görünür aralıkta bilgisayar görüşü ile şekil, renk, boyut, tekstür gibi özelliklerin çıkarımları yapılabilmektedir (Feng ve Sun, 2012). Ancak makine görüşü ile de kimyasal ve biyolojik parametrelerin tespitlerinde yöntemlerin ara sıra yeterli olduğu yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Mohebbi ve diğerleri, 2009; Chmiel ve diğerleri, 2011).

Bahsedilen 2 yöntem (spektrofotometrik ve makine görüşü) de gıda endüstrisinde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Buna karşılık her biri kendi dezavantajlarını da barındırmaktadır (Feng ve Sun, 2012).

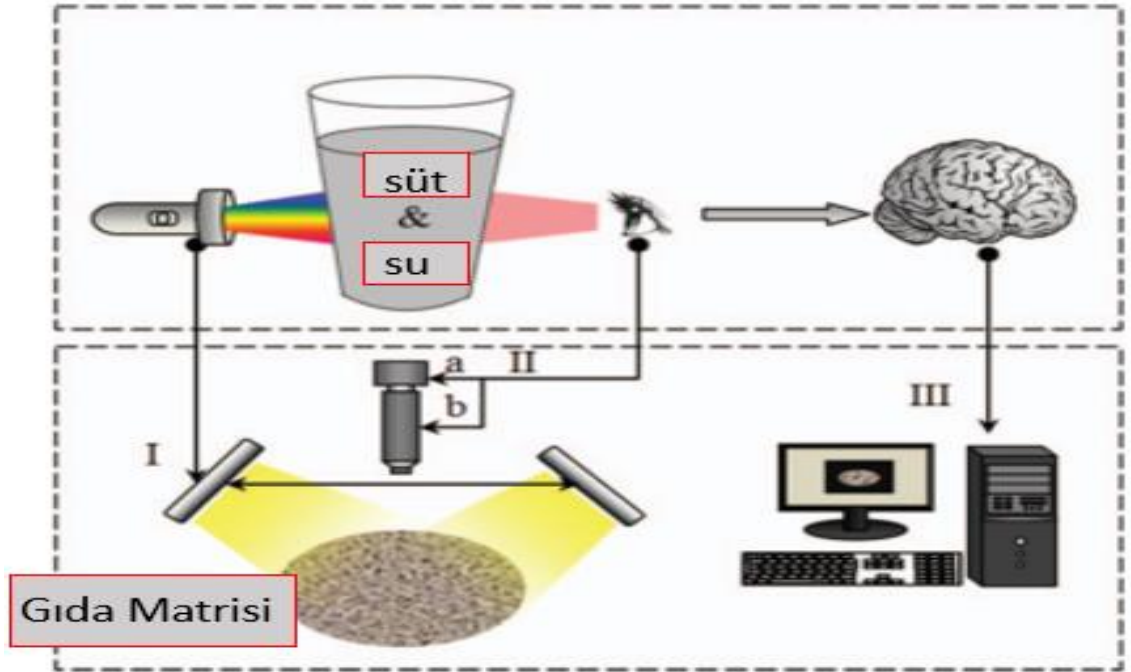
Hiperspektral görüntüleme; bu iki sistemi barındıran; hem spektral hem de uzamsal bilginin elde edilmesine olanak veren, entegre, yeni bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır (Gowen ve diğerleri, 2007).

Hiperspektral görüntüleme, veri işlemede zengin veri içeriği nedeni ile zorluklara neden olur ve endüstriyel uygulamalarını zorlaştırır. Bu sorunun üstesinden gelinmesi amacı ile multispektral görüntüleme (MSI) adı verilen basitleştirilmiş bir sürüm mevcuttur. HSI'nın içerdiği 100'den fazla banta karşılık MSI'da bant sayısı 10'dan azdır (ElMasry ve Sun 2010). Spektrofotometre, bilgisayar görüşü, multispektral görüntüleme, hiperspektral görüntüleme ile ilgili özellikler Çizelge 9' da özetlenmiştir.

Çizelge 9. Bilgisayar görüşü, NIRS(Near-infrared spectroscopy), multispektral görüntüleme, hiperspektral görüntüleme yöntemlerinin karşılaştırılması

Özellik	NIRS	CV	MSI	HSI
3boyutlu (uzaysal) bilgi		+	+	+
Spektral bilgi	+		Sınırlı	+
Çoklu-bileşen içeren bilgi	+	Sınırlı	Sınırlı	+
Minör komponentlere duyarlılık	Sınırlı		Sınırlı	+
Kimyasal görüntülerin inşası			Sınırlı	+
Spektral bilgi özütünün esnekliği			Sınırlı	+

Tipik bir HSI sistemi Şekil 18’de görselleştirilmiştir.



Şekil 18. Tipik bir HSI sisteminin konfigürasyonu I: ışık kaynağı; II: spektrograf (a: görüntüleme ünitesi; b: dalgaboyu dağıtma aparatı); III: bilgi işleyicisi (Feng ve Sun, 2012)

4.4.1.1. Gıda Sektöründe Makine Görüsü Kullanım Alanları

Gıda güvenliği denetimi ve kontrolü aşamalarında hiperspektral görüntüleme uygulamalarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Gıda matrisinin fekal ve injele kontaminasyonu (Çizelge 10), yabancı materyal kontaminasyonu gibi fiziksel kontaminasyon ve kusurlar (Çizelge 11), melamin taşıması (Şekil 19), pestisit kalıntıları gibi kimyasal kontaminasyonlar, bakteri tespiti, fungal kontaminasyonlar, parazit enfeksiyonları gibi mikrobiyolojik kontaminasyonlar hiperspektral görüntülemenin sıkça kullanıldığı alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 10. Meyve ve sebzelerde fekal kontaminasyonun hiperspektral görüntüleme kullanılarak saptanması

Ürün	Mod	Metot	Referans
Elma	Yansıma ve floresans	Band oranı ve eşik değeri (thresholding)	(Kim ve diğerleri, 2001)
Elma	Yansıma	PCA ve eşik değeri (thresholding)	(Kim, ve diğerleri, 2002)
Elma	Floresans	PCA, band oranı ve thresholding	(Kim, ve diğerleri, 2002)
Elma	Floresans	Thresholding	(Lefcourt ve diğerleri, 2005)
Elma	Floresans	Thresholding yada kenar tespiti (edge detection)	(Lefcourt ve diğerleri, 2005)
Elma	Floresans	Tekdüze (uniform) güç transformasyonu	(Lefcourt ve diğerleri, 2005)
Elma	Yansıma ve floresans	Band farkı	(Lefcourt ve diğerleri, 2006)
Elma	Yansıma	Band oranı, ikinci farklılık ve PCA	(Liu ve diğerleri, 2007b)
Elma	Floresans	Pik değişimi (peak shift) ve omuz eğrisi (shoulder curve) temelli ayırma algoritmaları	(Liu ve diğerleri, 2007a; Yang ve diğerleri, 2012)
Marul ve ıspanak	Floresans	Band oranı, thresholding ve medyan filtreleme	(Yang ve diğerleri, 2010)

Bu şekilde bir sistem ile göz ile saptanamayan ya da dalgınlık nedeni ile ihmal edilen proseslerde başarılı bir şekilde fiziksel kontaminasyon saptanabilmektedir. Hasta tavuk karkaslarının saptanmasında kullanılan hiperspektral görüntüleme ile ilgili çalışmalar Çizelge 11’ de sıralanmıştır.

Çizelge 11. Hasta tavuk karkaslarının Hiperspektral görüntülemeye dayalı teşhisi

Saptanan özellik	Mod	Özellik çıkartımı ve metotların sınıflandırılması	Referans
Septox*	Yansıma	Septisemi sınıflandırılmasında PCA ve enflamatuvar süreç için ROI metotları kullanılmış. Karar Ağacı algoritması ile birlikte kombin kullanımları sonucu farklı hastalıklara sahip tavuklar ve normal tavuk türlerinin ayrılması gerçekleştirilmiş	(Yang ve diğerleri, 2005)
Septox	Yansıma	Bazı dalga boyu ve PCA'ya göre özellikler seçilmiş ve bu özellikler, Karar Ağacı algoritması ile ayırım için girdi olarak verilmiş.	(Yang ve diğerleri, 2005; Yang ve diğerleri, 2006)
Septox	Yansıma	Görsellere dayalı olarak bulanık mantık sistemi (fuzzy logic) geliştirilmiştir	(Yang ve diğerleri, 2006)
Septox	Yansıma	Farklı spektrumdan seçilen dalga boylarına dayalı olarak, bulanık mantık kullanımı ile ayırım gerçekleştirilmiş.	(Chao ve diğerleri, 2007)
Septox	Yansıma	Çevrimiçi uygulama için, ilgilenilen alanların (ROI) boyutu ve konumu ile önemli dalga boylarının oranları optimize edilmiş. Sağlıklı tavukların sağlıksızlardan ayrılması amacıyla bulanık mantık kullanılmış.	(Chao ve diğerleri, 2008)
Tümör	Yansıma	Oransal görsellerde tanımlanan ilgilenilen alanlardan (ROI) istatistiksel bilgiler çıkarılmış ve sınıflandırma için özniteliklerin değerlerine dayalı bulanık kurallar (fuzzy rules) kullanılmıştır.	(Chao ve diğerleri, 2002)
Tümör	Floresans	Verilerin temsili için ilk iki ana bileşen ve ayırım için destek vektör makinesi (SVM) kullanılmış.	(Fletcher ve Kong, 2003)

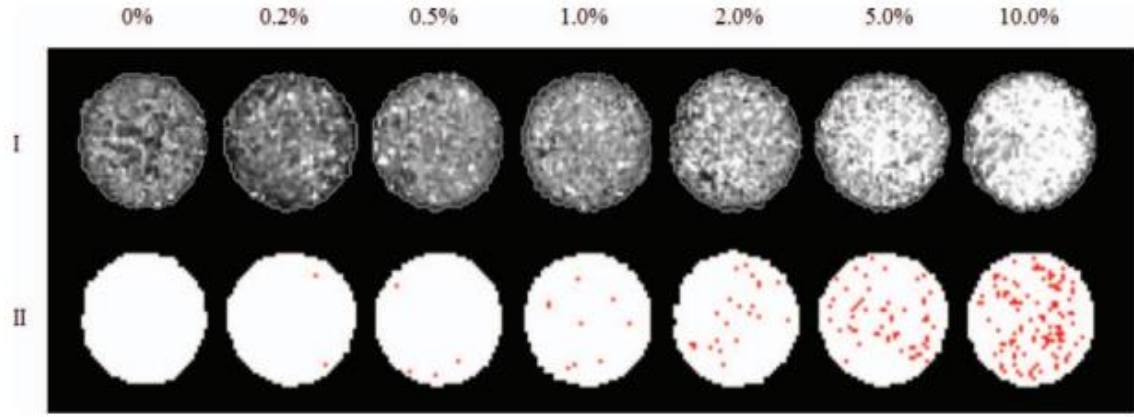
*septisemi yada toksemi durumu

Gıda kimlik doğrulaması, gıdanın taşıdığı veya etiketteki yanlış bilgiler yoluyla ekonomik amaçlarla gerçekleştirilen yasadışı bir eylem olan sahtekarlığı tespit etmeyi amaçlamaktadır (Danezis ve diğerleri, 2016; Barreto ve diğerleri, 2018).

Genetik çeşitlilik, coğrafik orjin, işleme teknolojisi ve gıda kompozisyonu gibi hususlar taşıdığı yakından ilgilendiren konulara girmektedir (Esteki ve diğerleri, 2018).

Melamin taşıdığı 2008'de Çin'de patlak veren süt tozu skandalı ile altı çocuğun ölümüne ve binlerce kişinin hastaneye kaldırılmasına neden olmuş ve taşıdığı skandalları arasında

belki de en kötü şöhrete sahiptir. Bu konuda hiperspektral görüntüleme ile ilgili çalışmalara literatürde raslamak mümkündür (Jianwei Qin ve diğerleri, 2010; Chao ve diğerleri, 2011)



Şekil 19. Farklı konsantrasyonlarda melamin ile karıştırılmış süt tozunun Raman görüntüleri (1) ve tahmin haritası (2) (Qin ve diğerleri, 2010)

Şekil 19’ da verilen Raman görüntüleri $675,4 \text{ cm}^{-1}$ ’de elde edilmiş ve tahmin haritasındaki kırmızı noktalar, süt tozundaki melamin varlığına işaret etmektedir.

Melamin dışında tarih sahnesinde diğer taşıyıcı olayları olarak İrlanda’da dioksin kontaminasyonu nedeniyle domuz krizi, zeytinyağının fındık yağı ile karıştırılması, balda yapılan taşıyıcılar ve bunun gibi birçok gıda matrisine konu olan taşıyıcılarından bahsedilebilir. Bitkisel yağların NIR ve HIS kullanılarak yapılan kimlik doğrulaması çalışmaları Çizelge 12’de gösterilmiştir.

Çizelge 12. NIR ve HIS kullanılarak bitkisel yağlar, kahve, tahıl, et ürünleri ve balda kimlik doğrulaması çalışmaları

Gıda matrisi	Tağışış kontrolü	Enstrüman	Kemometrik analiz	İstatistiksel parametreler	Kaynak
Ayçiçek yağı	Mineral yağ	NIR (yansıma modu)	MSC/PLS	R ² p=0,99; RMSEP=%0,23	(Picouet ve diğerleri, 2018)
		Çok kanallı Quasi görüntüleme görünür NIR spektrometre prototipi		R ² p=0,91; RMSEC=%1,0	
Palm yağı	Domuz yağı	NIR iletim modu (transmission)	SIMCA CARS-PLS	Kesinlik =1,0; Spesifiklik = 1,0 Hassasiyet =0,2; R ² p=0,99 RMSEC =0,33%	(Basri ve diğerleri, 2017)
		NIR geçiş modu (transflectance)		Kesinlik =1,0; Spesifiklik = 1,0 Hassasiyet =0,4; R ² p=0,99 RMSEC =%0,41	
Susam yağı	Kimlik doğrulaması	NIR absorbans modu	CARS-PLS CARS-ECR	RMSEC=0,0245; RMSEP=0,055 RMSEC=0,0188; RMSEP=0,039	(Chen ve diğerleri, 2018)
Zeytin yağı	Kimlik doğrulaması	UV-VIS-NIR	SBS-PLS	R ² p=0,99	(Shi ve diğerleri, 2019)
Sızma zeytin yağı	Soya yağı	NIR	PLS	R ² p=0,99 RMSEP =1,76	(de Oliveira Mendes ve diğerleri, 2015)
Sızma zeytin yağı	Coğrafi orjin	NIR	PLS-DA	Sınıflandırma: %100	(Jiménez-Carvelo ve diğerleri, 2019)
Sızma zeytin yağı	Kimlik doğrulaması	FT-NIR	PLS	R ² p>0,95	(Mossoba ve diğerleri, 2017)
Sızma zeytin yağı	Kimlik doğrulaması	FT-NIR	SIMCA	Sınıflandırma: % 100	(Karunathilaka ve diğerleri, 2016)
Sızma zeytin yağı	Coğrafi orjin	NIR	SIMCA	Doğru sınıflandırma: %89,55- 98,50	(Laroussi-Mezghani ve diğerleri, 2015)
Zeytin yağı	Coğrafi orjin	NIR	LDA	Doğru sınıflandırma: %98,5- 100	(Forina ve diğerleri, 2015)
Arabica kahvesi	Coğrafi orjin	NIR	SVM	Hassasiyet =1,0 Spesifiklik =1,0	(Bona ve diğerleri, 2017)

Çizelge 12. NIR ve HIS kullanılarak bitkisel yağlar, kahve, tahıl, et ürünleri ve balda kimlik doğrulaması çalışmaları

Arabica kahvesi	Robusta kahvesi ile karıştırılmış	FT-NIR	PLS	R ² p=0,97 RMSEP=4,3%	(Bertone ve diğerleri, 2016)
Robusta ve Arabica kahvesi	Coğrafi orjin	FT-NIR	PLS-DA	Doğru sınıflandırma>%93	(Giraud ve diğerleri, 2018)
Robusta ve Arabica kahvesi	Tür saptanması	NIR-HIS	sPCA+kNN	Verimlilik tahmini(test kümesi) = %100 Verimlilik tahmini (test görseli) = %86,9	(Calvini ve diğerleri, 2015)
			sPLSDA	Verimlilik tahmini(test kümesi) = %100 Verimlilik tahmini (test görseli) = %80,2	
Robusta ve Arabica	Tür saptanması	NIR-HIS	PLS-DA (4 değişken)	Verimlilik tahmini(test kümesi) = %94,9 Verimlilik tahmini (test görseli) = %74-92,2	(Calvini ve diğerleri, 2015)
			PLS-DA (32 değişken)	Verimlilik tahmini(test kümesi) = %100 Verimlilik tahmini (test görseli) = %71-92,1	
			sPLS-DA (2 değişken)	Verimlilik tahmini(test kümesi) = %100 Verimlilik tahmini (test görseli) = %83,9-93,1	
Robusta ve arabica	Tür saptanması	NIR-HIS	ELM (Extreme Learning Machine)	Doğru sınıflandırma=%93,5	(Bao ve diğerleri, 2015)
Robusta ve arabica	Tür saptanması	NIR-HIS	SVM	Doğru sınıflandırma=%98	(Zhang ve diğerleri, 2018)
Arabica	Coğrafi orjin	NIR	PLS-DA	Hassasiyet : 0,75-1,0 Spesifiklik : 1,0	(Marquetti ve diğerleri, 2016)
	Genotip orjini			Hassasiyet: 0,75-1,0 Spesifiklik: 0,93-1,0	
Robusta	Genotip orjini	NIR	PLS-DA SIMCA SOM SVM	Doğru sınıflandırma: %82,9 Doğru sınıflandırma: %99,6 Doğru sınıflandırma: %100 Doğru sınıflandırma : %99,6	(Luna ve diğerleri, 2017)

Çizelge 12. NIR ve HIS kullanılarak bitkisel yağlar, kahve, tahıl, et ürünleri ve balda kimlik doğrulaması çalışmaları

Buğday	Sorgum Yulaf Mısır	HSI	Çok değişkenli istatistiksel proses kontrolü (MSPC)	R ² p=0,95 R ² p=0,97 R ² p=0,99	(Verdú ve diğerleri, 2016)
Yulaf	Arpa Buğday Çavdar	HIS	PCA PLS-DA	Doğru sınıflandırma: 0,96	(Erkinbaev ve diğerleri, 2017)
Pirinç	Coğrafik orjin	HIS	SVM	R ² p=0,9167	(Sun ve diğerleri, 2017)
Pirinç	Coğrafik orjin	HIS		Doğru sınıflandırma : %99	(Mo ve diğerleri, 2017)
Buğday	Coğrafik orjin	NIR	LDA PLS-DA	Doğru sınıflandırma : %82 Doğru sınıflandırma : %92	(Zhao ve diğerleri, 2013)
Buğday	Coğrafik orjin	NIR	PCA-PLS	Doğru sınıflandırma: %85	(Zhao ve diğerleri, 2014)
Mısır	Coğrafik orjin	NIR	PLS-DA	Doğru sınıflandırma : %87,9	(Zhou ve diğerleri, 2015)
Kuzu eti	Kastan ayırım	VIS/NIR- HSI	LMS (Linear Last Mean Squares)	Doğru sınıflandırma : %96,67	(Sanz ve diğerleri, 2016)
Dana eti	Tağşiş	VIS/NIR- HSI	SVM / PLS SVM / PLS	Toplam sınıflandırma : %76-95 R ² p : 0,53-0,86 RMSEP : 0,17-1,36	(Rady Adedeji 2018)
		NIR-HIS		Toplam sınıflandırma : %81-95 R ² p : 0,53-0,86 RMSEP : 0,26-0,55	
Kuzu eti	Tağşiş	VIS/NIR- HSI	PLS	R ² p: 0,98 RMSEP : 2,51	(Zheng ve diğerleri, 2019)
Bal	Floral orjin	VIS/NIR- HSI	Radyal temelli fonksiyon (RBF) SVM Rassal orman	Doğruluk : %94 Doğruluk : %93 Doğruluk : %93	(Minaei ve diğerleri, 2017)
Bal	Fruktoz- Glukoz	VIS/NIR- HSI	ANN SVM LDA Fisher Parzen	Doğruluk : %95 Doğruluk : %92 Doğruluk : %90 Doğruluk : %89 Doğruluk : %84	(Shafiee ve diğerleri, 2016)

Hiperspektral görüntüleme (HSI), gıda kaynaklı patojenlerin hızlı tespiti ve tanımlanması için de büyük bir potansiyele sahip teknoloji olarak görülmektedir. Normal laboratuvar uygulamaları külfetli, yoğun emek gerektiren, pahalı yöntemler olup, doğrulayıcı sonuçlar vermesi 4-7 gün arasında değişen süreleri içerebilmektedir. Bu nedenle, güvenli ve hızlı bir gıda tedarik zincirinin işleyişi için gıda kaynaklı patojenlerin hızlı tespit yöntemleri (en azından varsayım düzeyinde) gereklidir. Bu aşamada HSI, bir numunenin analiz edilmesi ve tespiti için tahribatsız bir yöntem olup görünür yakın kızılötesi spektrumları (400 ila 1000 nm) kullanarak bir numunenin (bakteri hücreleri veya koloniler gibi) hem uzamsal hem de spektral bilgilerini elde etmek için görüntülemeyi spektroskopi ile birleştirmektedir (Gowen ve diğerleri, 2007; Dale ve diğerleri, 2013).

HSI, tanımlama için örneklerin optik özelliklerini kullanır; bu nedenle HSI, ışık (görünür ve / veya yakın kızılötesi ışık) ile numunenin moleküler yapısı arasındaki etkileşimler üzerinde çalışır. HSI sırasında, örneğin hiperspektral görüntüleri önceden tanımlanmış çeşitli dalga boylarında yakalanır; ve yansıtma, geçirgenlik, absorbans veya floresans (bir numunenin moleküler ve kimyasal yapısına bağlı olarak) hiperspektral grafikler oluşturmak için bu dalga boyu aralığında ölçülür. Hiperspektral grafikler ile, farklı organizmalar için bir kütüphane geliştirmesi için kullanılıp, sonrasında bilinmeyen bir numunenin hızlı bir şekilde tanımlanması için kullanılabilir (Michael ve diğerleri, 2019). Patojen tespiti uygulamaları için Şekil 20'deki gibi bir düzenek kullanılmaktadır.



Şekil 20. Hiperspektral görüntüleme için mikroskop sistemi, 1: halojen ışık kaynağı; 2: optik mikroskop; 3: optik kamera; 4: VNIR spektrofotometre; 5: motor bağlanmış tabla; 6: tabla için kontrolör; 7: bilgisayar (Michael ve diğerleri, 2019)

Gıda sektöründeki dijitalleşme ile geleneksel yöntemlerde operatör kaynaklı dalgınlık ya da olumsuzlukların önüne geçilebilecek, doğruluğu yüksek ve daha nesnel yöntemler ile kalite arttırılacak, işçilik maliyetleri ve zamandan tasarruf edilebilecek, buradaki iş gücünün daha nitelikli işlere teşviki sağlanabilecektir.

4.4.2. Tarım Sektörü ve Dijital Dönüşüm

FAO'nun 2015 (Anonim, 2015a) yılında yayımladığı “İklim değişikliği ve gıda güvencesi: riskler ve yanıtlar” raporuna göre 2015 yılı itibariyle yaklaşık 800 milyon insan kronik olarak yetersiz beslenmekte, beş yaşın altındaki çocuklardan tahminen 161 milyonu bodurluk (gelişim bozukluğu) çekmekte iken 500 milyon kişi obezite ile mücadele etmekte, 2 milyar insan sağlıklı bir yaşam sürebilmek adına ihtiyaç duydukları temel mikro besinlerin yokluğunu çekmektedir. FAO'nun ilgili raporunda nüfus artışı ve diyet değişikliklerine bağlı olarak gıda güvencesinin sağlanabilmesi adına 2015 yılındaki gıda üretiminin 2050 yılına kadar %60 oranla arttırılma gerekliliğini dile getirmekte, aksi durumda gıda güvencesi bakımından sıkıntıların yaşanacağını öngörmektedir. Ekilebilir arazi alanlarının sınırlı olmasından dolayı gıda artışıdaki en önemli katkıyı üretimin verimliliği yapacaktır. Bu verimlilik tarımda dijital dönüşüm ile kontrol edilebilir ve sürdürülebilir stratejiler sunmaktadır.

2050 yılında 9,3 milyar kişi olması beklenen dünya nüfusunu besleyebilmek için aynı zamanda; ekonomik olarak %30'una erişebildiğimiz ve bununda %70'inin tarım alanlarında kullanıldığı tatlı su kaynaklarının etkin kullanılması, ekilebilir tarım arazilerinin limitli olduğu göz önünde bulundurularak verim arttırılmasına dayalı politikaların oluşturulması, gıdanın tüketicilere ulaşana dek geçen farklı süreçlerde oluşan kayıpların minimize edilmesi (hasat süreci, nakliye, depolama vs.) iklim değişikliği, küresel ısınma gibi konularda farkındalık yaratılması ve politikalar geliştirilmesi gereklidir. Bu verimli sürecin sağlanmasında tarımda dijital dönüşüm oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir.

Hızlı yaşanan kentleşme ile gelecekte tarımsal arazilerin günümüze oranla daha büyük oranda azalacağı öngörülmektedir. 2050 yılında en kalabalık ülke olacak Hindistan şuanda dahi yerel gıda üretiminin gerisinde kalmakta bunun ana nedenleri olarak

planlama eksikliği, öngörülemeyen hava koşulları, uygun olmayan hasat ve sulama teknikleri ve hayvancılıkta kullanılan yanlış yöntemler öne çıkmaktadır.

Küresel ısınma ile birlikte iklim değişiklikleri ve hava koşullarındaki etkilenmeler, artan sıcaklıklar bunların sonucunda meydana gelen kuraklıklar veya yoğun yağışlar çiftçiler için büyük zorlukları beraberinde getirmektedir. Hindistan hükümetinin yıllık ekonomik anketine göre olumsuz iklim koşulları çiftçilerin gelirlerini %20-25 dolaylarında olumsuz olarak etkilemektedir. Bu kapsamda hassas tarım olarak nitelendirilen kavram tüm dünyadaki gıda güvencesine en önemli çözümlerden birini oluşturmaktadır.

Tarımdaki karmaşık problemlerin çözülmesinde, modern yüksek teknoloji gerektiren gıda sistemlerinin gereksinimlerinin karşılaması aşamasında bilişim sistemleri ile entegrasyon kaçınılmazdır. Bu zorlukların aşılması amacı ile özellikle yurt dışında şirketler genellikle tarım ve bilişim sistemlerinde yetkinliğe sahip kişileri işe almak istemektedirler. Böyle bir alanın olması hem tarım bilgisi olan ve bilişim sistemlerine ilgi duyan kişiler için hem de hali hazırda bilişim sistemleri üzerine çalışan ve tarıma ilgisi olan adaylar için büyük bir sektörde multidisipliner bir alan oluşturmaktadır.

Tarımsal üretim, araştırma, geliştirme çalışmaları ile toplanan bilgiler, bu bilgilerin sınıflandırılıp depolanması, bilgilerin uygun algoritmalar oluşturularak ya da araçlar kullanılarak analize alınması, bu işlenmiş verilerin uygun formatta raporlanması ya da yayınlanması işlemleri bu multidisipliner alan ile mümkün olmaktadır. Temel ve uygulamalı bilim dalları ile ilişkisi olan tarım alanının bilgi ve iletişim teknolojilerini yakından takip etmesi elzemdir. Tarımsal bilişim alanı alt dalları veri toplanması ve bu verilerin analiz aşaması, bilgi organizasyonları, planlama, karar ve destek mekanizmaları, üretim otomasyonu, tasarım ve modelleme, doğal kaynakların yönetimi, kırsal bölge planlanması, afet işleri denetimi ve yönetimi olarak ayrılabilir.

Bilişim tüm sektörlerin gelişmesinde önemli bir paya sahip iken, diğer sektörler ile entegre çalışan ve diğer sektörlerle hammadde sağlar konumda bulunan tarım sektörünün bu konuda geri kalması sömürülmeye de en açık sektör olmasına yol açmaktadır (Akın ve Yıldırım, 2017). Tarımın bilişimde geri kalması toprak kaynağı, iklim ve su kaynaklarına fazla güvenilmesi ile yakından ilgilidir. Kaynakların verimli kullanılması

ve bunlardan maksimum verimin elde edilmesi artık ulusal düzeyi geride bırakmış uluslararası bir önem teşkil etmeye başlamıştır.

Tarımda dijital dönüşüm ile, tarımsal alanlardan elde edilen verilerin, bilimin ışığında işlenmesi, çiftçilerin hizmetine sunulması, insan kaynaklı yaşanan bir çok sorunun ortadan kaldırılmasıyla verimliliğin artırılması, girdi maliyetlerinin kısılması, dışa bağımlılığın azalması, pazarlama ve tarımsal alanların etkili kullanımı gibi birçok parametreye olumlu yönde etki ederek tarımsal faaliyetlerin desteklenmesi hedeflenmektedir.

Dronlar, uydu görüntüleri, sensör teknolojileri ile veri toplama araçları artmış, büyük veriyi yönetebilecek bilgisayarlar ve uygun kütüphaneler oluşturulmuştur. Bu imkanlar ile birlikte tarımda bu araçların kullanıma geçmesi sonucu hassas tarım (precise farming), dijital tarım (digital farming), akıllı tarım (smart farming) gibi kavramlar öne sürülmüştür. Bu kavramlar birbirlerinin yerine de geçebildiği gibi aralarında ufak farklılıklar bulunmaktadır.

4.4.2.1. Tarımsal Üretimde Hassaslık ve Kontrol Edilebilen Parametreler

Hassas/kesin tarım (precision farming) olarak literature giren yüksek hassasiyetli tarımsal faaliyetler; ekinlerdeki/mahsüllerdeki değişkenliğin izlenmesine, ölçümüne ve bunlara uygun yanıtların verilmesine dayanan, tarımsal süreç yönetimi ile açıklanmaktadır. Geleneksel yöntemler ile bu süreçler zahmetli ve insan faktöründen dolayı hataya eğilimli iken makine görüşü ile tarımsal faaliyetler karşısında üretilen büyük verinin makine öğrenmesi algoritmaları ile hızlı ve doğru yorumlanması sonucu verimli çözümler sunulmakta ve bu şekilde tarımsal üretim desteklenmektedir (Mavridou ve diğerleri, 2019).

IoT ile tarımsal üretimde hassasiyeti yüksek yönetim süreci sensörler tarafından toplanan aydınlatma, toprak sıcaklığı, CO₂ konsantrasyonu, yaprak nemi ve çiğ noktası sıcaklığı gibi gibi çevresel parametrelerin eş zamanlı olarak toplanması sonrası merkezi kontrol bilgisayarlarında izlenmesi ve sonrasında yazılım ile izlenen sürecin fiziki müdahale mekanizmalarını aktif hale getirilmesi ve durumun kontrol altına alınması ile sağlanmaktadır (Hu ve diğerleri, 2020).

4.4.2.2. Hassas Tarım

John Deere, GPS kontrollü traktörler kullanarak tohumların ekimi ve gübreleme işlemlerinin gerçekleştirilebildiği bu teknolojiyi 1990 yılında tanıtmıştır. 2010'ların başlarında, ucuzlayan ve daha da geliştirilmiş sensor teknolojileri, aktüatörler ve mikro işlemciler, yüksek bant genişliğine sahip hücresel iletişim, bulut tabanlı ICT sistemleri ve büyük veri analitiği gibi yeni teknolojilerin ilerlemesiyle hassas tarım, gelişimini hızlandırmıştır (Anonim, 2017b). Hassas tarım terminolojisi için farklı kurumların farklı tanımlamaları bulunmaktadır.

McKinsey & Company şirketi hassas tarımı tarımsal süreçlerin yönetiminde gözlem, ölçüm ve analizlerin tarlalar ve ekinler bazında teknoloji ile entegre olmuş komple bir sistem olarak tanımlarken, Avrupa parlamentosu hassas tarımı; tarımsal üretim süreçlerini izlemek ve optimize etmek için dijital teknikler kullanan modern bir tarım yönetimi konsepti olarak açıklamaktadır.

McKinsey & Company şirketinin “Büyük veri, küresel gıda zincirinde nasıl devrim yaratacak” başlıklı raporunda hassas tarımın gelişimini şekillendiren faktörler için ilk olarak büyük veri ve analitik yeteneklerin gelişmesine ve diğer taraftan havadan görüntüler, sensörler, gelişmiş yerel hava durumu tahminleri gibi robot teknolojilerinin gelişimine dikkat çekmişlerdir (Magnin, 2016).

Avrupa Parlamentosu ise hassas tarım için optimizasyonun önemine dikkat çekmiştir. Buna örnek olarak geleneksel yöntemler ile tüm tarlaya eşit miktarda gübre uygulanması yerine, hassas tarım ile tarla içi toprak varyasyonları ölçülerek gübre stratejisinin buna göre uyarlanması sonucu gübre kullanımının optimizasyonu, tarımsal maliyetlerin kısılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi verilebilir (Parliament ve diğerleri, 2019).

EP-STOA tarafından sunulan Avrupa’da hassas tarım ve gelecek tarımı raporunda hassas tarımın avantajlarını; daha az girdiden daha fazla çıktı üretilmesi, bitki sağlığı ve gıda güvenliğinde artış, gıda güvencesine büyük katkılar yapabilecek potansiyeli barındırması, tarımda sürdürülebilirliğin sağlanması, tarımsal olarak yeni iş modellerinin artması ile geniş toplumsal değişikliklere neden olacağı, teknolojik, çevresel ve yönetsel yeni becerilerin öğrenilmesi için itici güç oluşturabileceği konuları sıralanmıştır.

Hassas tarımın ana odak noktası, çiftliğin karlılığının artırılması için üretim maliyeti ve çevresel etkileri azaltmaktır. Nesnelerin interneti (Gubbi ve diğerleri, 2013), yapay zeka, veri analizi, bulut bilişim ve blok zinciri teknolojisi gibi dijital teknolojiler hassas tarımın gelişiminde önemli roller bulunmaktadır.

Hassas tarımda, toprak besinleri, gübreler ve su gereksinimleri ile ilgili verileri toplamak ve mahsullerin gelişimlerini analiz etmek için IoT tabanlı akıllı sensörler tarım arazisine yerleştirilir. İnsansız hava aracı (İHA) (Nex ve Remondino, 2014) gibi otonom/yarı otonom cihazlar ve robotlar, bitkilerdeki yabancı ot ve hastalıkları bilgisayarla görme teknikleri kullanarak tespitinde rol oynamaktadır. Ayrıca uydu görüntüleri de tarlanın izlenmesi ve bitkilerdeki hastalıkların belirlenmesi için hassas tarımda da kullanılan araçlardandır.

Tarlalara yerleştirilen sensörlerden (Adamchuk ve diğerleri, 2004) elde edilen veriler, çiftçilik uygulamalarını daha kontrollü ve optimize hale getirmek için makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak işlenir ve analiz edilir. Makine öğrenmesi algoritmaları, sensörlerden, iklim kayıtlarından ve uydu görüntülerinden elde edilen verilere dayalı olarak hava durumu ve yağış tahmini için de kullanılabilir.

Hassas tarımın diğer önemli bileşeni de akıllı olarak hayvancılık yönetimi ile ilgilidir. Bu kavram hayvanların sağlığını, refahını, üretkenliğini ve üremesini yaşam döngüleri boyunca izlemeye yardımcı olur. Sensörler ve kameralar, hayvanın sağlığını izlemekte ve bilgisayarla görme teknikleri ile entegrasyonu sonucu hastalıkların diğer hayvanlara yayılmasını durdurmak gibi akıllı kararlar vermede yardımcı olmaktadır.

Otonom traktörler ve otomatik sulama sistemleri, çiftçilere modern tarım çözümleri sunmaktadır. Hassas tarımın dünya çapında yaygın kullanımı, inovatif makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları, yüksek hızlı internet erişiminin artması ve verimli hesaplama cihazlarının varlığındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Literatürde, sürdürülebilir tarım tedarik zinciri performansı için bazı makine öğrenmesi uygulamaları tartışılmıştır (Liakos ve diğerleri, 2018; Alsolai ve Roper, 2020).

4.4.2.3. Dijital Tarım

Dijital tarım verilerden değer yaratılması ile ilgili bir terminolojidir. Dijital Tarım, verilerin salt mevcudiyetinin ve kullanılabilirliğinin ötesine geçerek bu tür verilerden eyleme geçirilebilir katma değeri yüksek bir değer üretmesine odaklanmaktadır. Aynı zamanda hassas tarım ve akıllı tarım kavramlarını birleştiren bir konumda bulunmaktadır. Alman Tarım Topluluğu (DLG) dijital tarımı hassas tarım ve akıllı tarım yöntemlerinin tutarlı bir şekilde uygulanması, çiftliğin iç ve dış ağ bağlantısı ve büyük veri analizleriyle birlikte web tabanlı veri platformlarının kullanılması olarak tanımlamıştır (DLG ve diğerleri, 2018).

4.4.2.4. Akıllı tarım

Akıllı tarım, karmaşık tarım sistemlerinin optimize edilmesi aşamasında bilgi ve veri teknolojilerinin uygulanmasını tanımlamaktadır. Tarımsal üretimin ileri bir aşaması olup tarım sisteminin verimli ve akıllıca yönetimine yardımcı olmak ve modern bilgi teknolojisinin tam olarak kullanılmasını ifade etmektedir. Bu şekilde tarımsal ürünlerin rekabet gücü, tarımın sürdürülebilir gelişimi, kırsal alanlardaki uyumluluk, kırsal enerjinin etkin kullanımı ve çevrenin korunması gibi hedeflere etkin bir şekilde ulaşılması için güçlü bir yol haritası sağlamaktadır (Hu ve diğerleri, 2020).

Tarımsal nesnelerin interneti olarak karşımıza çıkan Agri-IoT terimi IoT teknolojisinin tarımsal üretim, operasyonlar, süreç yönetimi ve hizmet aşamaları ile entegrasyonunu açıklamaktadır. Agri-IoT tarımsal üretim, lojistik, hayvan ve bitkilerin sensor teknolojisi ile verilerinin toplanması; toplanan verilerin kablosuz sensör ağları, mobil iletişim kablosuz ağları ve internet üzerinden aktarılması; terminallerin akıllıca çalıştırılması ile izleme, bilimsel karar verme ve gerçek zamanlı hizmeti gerçekleştirme aşamalarını kapsayan tarımsal süreçleri içeren döngüde sağlanan büyük verinin birleştirilmesi (fuse) ve işlenmesi fonksiyonları yerine getirmektedir. Agri-IoT teknolojisi, küçük ölçekli işletmelerden merkezi olmayan (decentralized) büyük ölçekli işletmelere hassasiyeti yüksek, otomatik ve akıllı bir tarımsal üretim moduna dönüşüm sürecini destekler ve aynı zamanda tarımın sürdürülebilir gelişimini teşvik eder.

Hassas tarım geçerli olan ölçümlerin hassasiyeti ile açıklanırken akıllı tarım verilere ulaşım ve toplanan verilerin akıllıca kullanımına odaklanmaktadır. Akıllı tarım

uygulamaları ile çiftçiler, toprak ve bitkilerin durumu, arazi, iklim, hava durumu, kaynakların kullanımı, insan gücü, finansman vb. parametreler hakkında eş zamanlı verilere akıllı telefonlar, tabletler gibi mobil cihazlar vasıtasıyla erişebilmektedir. Dolayısı ile çiftçiler geleneksel tarım uygulamalarında olduğu gibi sezgilerine güvenmek yerine somut, bilimsel verilere dayalı bilinçli kararlar vermek için gerekli bilgileri elde edebilmektedirler (Giesler, 2018).

4.4.2.5. Tarımda Yapay Zeka ve IoT (Nesnelerin İnterneti) Teknolojilerinin Etkileri

Yapay zeka bölümünde bahsedildiği üzere bu terimden ilk olarak 1956 yılında John McCarthy tarafından Dartmouth konferansında bahsedilmiş ve akıllı makineler ya da daha spesifik bir şekilde akıllı bilgisayar programları yapma bilimi ve mühendisliği olarak tanımlanmıştır. IoT ise kısaca akıllı sensörler ve cihazların internet üzerinden birbirine bağlandığı yeni gelişen bir teknoloji olduğunu söylemek mümkündür. Bahsi geçen akıllı sensörler, verimli kaynak kullanımı, güneş enerjisi santralleri, tarım alanları, imalat endüstrisi gibi farklı disiplinlerde veri toplamak amacı ile kullanılabilir.

Nüfus artışı ile birlikte tarım ürünlere olan talep her geçen yıl artmakta fakat tarımsal faaliyetler için sınırlı arazi mevcudiyeti ve genç neslin tarımı meslekleri olarak benimsemeye olan ilgilerinin azalmasıyla, tarım endüstrisinin milyonlarca insanın gıda ihtiyacını karşılaması zor bir görev haline gelmektedir. Ekinlerin verimli bir şekilde yetiştirilmesinde ve çiftçilerin geleneksel zorluklarının üstesinden gelmesi aşamasında dünyada IoT ve AI gibi akıllı teknolojileri geniş çapta benimsenmeye başlanmıştır.

IoT tabanlı akıllı tarım sistemi ile sensörler vasıtası ile toprak besinleri ve toprak nemi takip edilebilir, makine öğrenmesi algoritmaları ile bitki ekimi öncesi toprak için gerekli optimum gübre miktarları tahminlenebilir, dronlar vasıtası ile tarla ve ekinlerin izlenmesi, pestisitlerin püskürtülmesi, damla sulama yöntemi gibi işlemler gerçekleştirilebilir, ekinler yaşam döngüsü boyunca yabancı otlar ve hastalıklara karşı dronlardan elde edilen veriler ile derin öğrenme ve bilgisayar görüşü algoritmaları kullanılarak izlenebilir, yetiştiriciliği yapılan hayvanların sağlık durumları bu sensörler vasıtasıyla izlenebilir.

4.4.2.6. Hassas Tarımda Uygulanan Makine Öğrenmesi Uygulamaları

Tarım ülkelerin ekonomik gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Rehber ve Vural, 2018). Günümüzde birçok ülkeden çiftçiler, kendilerinden önceki nesilden gelen öneri ve deneyimlere dayanan geleneksel çiftçilik yöntemlerini uygulamaktadır. Dolayısıyla çiftçiler küresel ısınma, değişen iklim koşulları, düzensiz yağış modelleri nedeniyle tarımsal faaliyetlerini kontrol edemedikleri çevresel parametrelerin insafına bırakmakta ve sürdürülebilir olmayan bir yöntemi benimsemektedirler. Artan popülasyon, değişen iklim koşulları, sınırlı kaynaklar ile mevcut nüfusun gıda ihtiyacının karşılanması zorlu bir görev haline gelmektedir. Akıllı tarım olarak da bilinen hassas tarım, tarımsal sürdürülebilirlikte mevcut zorlukların ele alınmasında yenilikçi bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojinin en büyük ivmelendiricisi makine öğreniminde yaşanan gelişmelerdir. Makineye makine öğrenmesi ile açıkça programlama yapılmadan öğrenme yeteneği kazandırılmaktadır (Sharma ve diğerleri, 2021).

Tarımsal faaliyetlerde makine öğrenmesi organik karbon ve nem içeriği gibi toprak parametrelerinin tahmini, mahsul verimi tahmini, mahsullerde hastalık ve yabancı ot tespiti ve tür tespiti, gibi alanlarda kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi ile bilgisayar görüşünün birleştirilmesi ile mahsul kalitesi ve verim değerlendirmeleri yapılabilmektedir. Bu şekilde bilgiye dayalı tarımın, ürünün sürdürülebilir üretkenliğini ve kalitesini büyük ölçüde iyileştirebileceği öngörülmektedir (Sharma ve diğerleri, 2021).

Yapay zeka ve IoT özellikli hassas tarım, rastlantısallığı ortadan kaldırarak çiftçilik sürecinin her adımının optimize edilmesinde yeni çağ çiftçisine yardımcı olmaktadır. Tarımsal faaliyetlerde en yaygın kullanılan makine öğrenmesi uygulamaları arasında toprak özellikleri ve hava durumunun tahminlenmesi, mahsüllerin verim tahminleri, hastalık ve yabancı ot saptanması, damla sulama yöntemleri, hayvansal üretim ve yönetim ve akıllı hasat yöntemleri yer almaktadır.

4.4.2.6.1. Toprak Özellikleri ve Hava Durumunun Tahminlenmesi

Toprak özelliklerinin tahmini, mahsul seçimini, arazi hazırlığı, tohum seçimi, mahsul verimi ve gübre seçimini etkileyen en önemli adım olup kullanımdaki arazinin coğrafi ve iklim koşullarıyla doğrudan ilişkilidir.

Toprak özellikleri tahmini; mahsulün yaşam döngüsü boyunca topraktaki besinleri, toprak yüzey nemi ve hava koşullarının tahminlenmesinden oluşmaktadır. Bitkinin gelişiminde ihtiyaç duyduğu bileşenler Çizelge 13’de verilmiştir.

Çizelge 13. Bitkinin toprakta ihtiyaç duyduğu bileşenler (Sharma ve diğerleri, 2021).

Esansiyel Bitki Elementleri		Sembol	Birincil form
Mineral olmayan elementler	Karbon	C	CO ₂ (g)
	Hidrojen	H	H ₂ O (s), H ⁺
	Oksijen	O	H ₂ O (s), O ₂ (g)
Birincil Makro Besinler	Azot	N	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻
	Fosfor	P	HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻
	Potasyum	K	K ⁺
İkincil Makro Besinler	Kalsiyum	Ca	Ca ²⁺
	Magnezyum	Mg	Mg ²⁺
	Kükürt	S	SO ₄ ²⁻
Mikro besinler	Demir	Fe	Fe ³⁺ , Fe ²⁺
	Mangan	Mn	Mn ²⁺
	Çinko	Zn	Zn ²⁺
	Bakır	Cu	Cu ²⁺
	Bor	B	B(OH) ₃
	Molibden	Mo	MoO ₄ ²⁻
	Klor	Cl	Cl ⁻
	Nikel	Ni	Ni ²⁺

Toprakta bulunan bu besinler çoğunlukla elektrik ve elektromanyetik sensörler tarafından izlenmektedir (Adamchuk ve diğerleri, 2004). Veriler ışığında nutrientlere bağlı olarak çiftçiler de, toprak için hangi mahsulün en uygun olduğu konusunda bilinçli kararlar verebilmektedirler.

4.4.2.7. Hassas Tarımda Uygulanan Makine Görüşü Teknolojileri

Makine görme (teknolojileri; görünür ya da kızılötesi teknolojileri içerecek şekilde tarımsal otomasyon sürecinde verilerin işlenip, analiz edilmesine dayanmaktadır. Tarımsal kullanım alanlarını bitki ve meyve saptama yaklaşımları, meyve sınıflandırması, olgunluk tespiti, meyve sayımı ve verim tahmini, bitki ve meyve sağlığını koruma ve hastalık tespit yaklaşımları, görüş tabanlı araç yönlendirme sistemleri, görüntü odaklı otonom mobil tarım robotları oluşturmaktadır.

4.4.2.7.1. Bitki, Meyve Saptanması

Makine görmesinde en önemli alt konulardan birisi bitki-meyve saptama yaklaşımları olup bitki ya da meyvenin hasatlarında, verim tahminlenmesi, hastalık tahminleri gibi algoritmaları içermektedir. Saptama yaklaşımı ile birlikte nesnenin saptanması hassas, hızlı ve bitki ya da meyveye zarar vermeden gerçekleşmektedir. Bu bağlamda dikkat edilmesi gereken bazı konular bulunmaktadır. Bunlar farklı aydınlatma koşulları durumunda tespit edilecek nesnenin renginin farklı yorumlanması sonucu renk bilgisine dayalı segmentasyonun etkilenmesi ve arkaplan ile aynı tonları içeren bitkinin diğer kısımlarının hedeflenen kısım ile renk benzerliği içinde olması görüntü segmentasyonu başarısını etkileyeceğinden bitki/meyve saptanmasında sorunlara neden olabilmektedir. Meyve ve bitki tespitinde genel doğruluk oranını büyük ölçüde görüntü segmentasyon performansı ile ilgili olduğundan meyve rengi veya çevresindeki ortamdan bağımsız olarak yüksek doğruluk içeren segmentasyon algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu algoritmalarından bazıları Çizelge 14' de verilmiştir.

Çizelge 14. Farklı gıda matrislerinde farklı segmentasyon algoritmaları ile yapılan çalışmalar

Matris	Çalışmanın Amacı	Özellik tipi	Algoritma	Sonuç	Kaynak
Üzüm	Üzüm salkımlarının yapraklardan ve arka plandan hasada yakın renk özelliklerinin kullanılarak bölümlere ayrılması	Renk (HSV ve L* a* b* renk uzayları)	Yapay sinir ağları (ANN) ve genetik algoritmaya (GA) dayalı	Üzüm salkımı tespitinde algoritmanın genel doğruluğu %99,40	(Behroozi-Khazaei ve Maleki, 2017)
Yeşil elma	Yeşil elmaların yaprak gibi aynı renge sahip arkaplandan tespiti	Renk (YUV renk uzayının V bileşeni)	Saliency teorisi Gauss eğri uydurma (Gaussian curve fitting) k-means kümeleme Fuzzy C-means kümeleme	Tanımlama oranı: %91,84 Yanlış pozitif oranı: %1,36 Yanlış negative oranı: %8,16 Yanlış saptama oranı: %4,22	(Song, 2018)
Elma çiçekleri	Elma çiçeklerinin renk ve morfolojik özelliklere göre çiçek tespiti	Renk ve uzaysal yakınlık (spatial proximity)	Evrişimli sinir ağları (CNN)	AUC-PR ve F-değerleri; Elma A: %93,40 Elma B: %80,20 Elma C: %82,20 Şeftali: %79,90	(Dias ve diğerleri, 2018)

Çizelge 14'den anlaşılacağı üzere saptama ile ilgili çalışmalarda hedef meyve /bitkinin ayırt edici renge dayanan özelliklerinin özütlenmesi ve daha hassas tespitler için bu görüntülerin uygun bir renk alanında analiz edilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda yapılan araştırmalarda tüm durumlar için tek optimum bir model olmadığı, verinin miktarı ve koşullara göre farklı durumlarda farklı modellerin daha iyi sonuçlar verildiği sonucu çıkarılmıştır.

4.4.2.7.2. Hasat Zamanı Uygulamaları

Tarımsal faaliyetlerin en önemli aşamalarından birisi de ekinlerin/meyvelerin hasat sürecidir. Bu proses yoğun bir iş gücü gerektirip oldukça zaman alıcı bir işlemdir. Bu aşamadan sonra boyut, olgunluk seviyesi, şekil ve hasar seviyesi gibi çeşitli özellikler esas alınarak sıralama işlemi gerçekleştirilir. Hasat sürecinde olduğu gibi bu aşama da yoğun bir iş gücü ve zaman gerektirmekte aynı zamanda insan faktörü nedeniyle bazı hataları beraberinde getirmekte ve nihai ürün kalitesinde değişikliklere yol açmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2017)

Tarım ürünlerinin otomatik olarak sıralanması, yavaş, sıkıcı ve hataya açık olan manuel yaklaşıma kıyasla daha verimli olmaktadır. Meyvelerin sayılması işlemi diğer önemli bir görev olarak karşımıza çıkmaktadır. Meyvelerin sayımının otomatize edilmesi çiftçilere hasat süreci optimizasyonunda yardımcı olabilmektedir. Böylece tarlalar arasındaki verim değişkenliği çok daha iyi anlaşılacak olup, yetiştiricilerin iş gücü tahsisleri, depolama, paketleme ve nakliye için daha bilinçli ve uygun maliyetli kararlar almasına yardımcı olabilir (Oppenheim, 2017)

Hasat sürecinin otomatize edilmesi aşaması için makine görüşü araştırmalarda yaygın olarak kullanılmakla birlikte bu görevi zorlaştıran bazı faktörler mevcuttur. Bunlardan bazıları ışıklandırma ile değişen bitki/meyvenin renkleri, bitki/meyve rengi ile bitki/meyvenin diğer kısımlarının renk benzerliği ve üst üste gelen meyveler, yanlış sınıflandırma ve sayımda yanlışlıklara sebebiyet verebilmektedir. Hasat zamanı uygulamalarını meyvenin sınıflandırılması ve olgunluk tespiti ile meyve sayımı ve verim tahminlemesi olarak iki alt başlık altında toplanabilir.

4.4.2.7.2.1. Meyve Sınıflandırılması ve Olgunluk Tespiti

Meyve sınıflandırması, meyvenin boyut, şekil ve olgunluk seviyesi gibi parametreler göz önünde bulundurularak sınıflandırılmasını ifade etmektedir. El ile yapılan sınıflandırma işlemi zaman alıcı ve işçilik gerektirmekte, aynı zamanda insan faktörü de prosesin bir parçası olduğundan yanlış sınıflandırmalara sebebiyet verebilmektedir. Makine görüşü ile bu sorunun üstesinden gelinebilmektedir. Literatürde sınıflandırma ile ilgili çalışmalar Çizelge 15' de verilmiştir.

Çizelge 15. Meyvelerin sınıflandırma ve olgunluk tespiti ile ilgili yapılmış çalışmalar

Meyve	Çalışmanın amacı	Özellik Tipi	Performans	Kaynak
Mango	Boyuta göre küçük, orta, büyük şeklinde sınıflandırma	Renk (RGB, HSI) Geometri Şekil	Hassasiyet: %97,0	(Momin ve diğerleri, 2017)
Mango	Boyut tahmini	Gradyen yönelimli histogram (HOG) Renk (CIE L*a*b* renk uzayı)	Meyve saptanmasındaki hassasiyet: %100 Meyve uzunluğuk tahmini: $R^2=0,96$ ve RMSE =4,9mm Meyve genişlik tahmini: $R^2 = 0,95$ ve RMSE = 4,3 mm	(Wang ve diğerleri, 2017)
Zeytin	Zeytinlerin maksimum/minimum (kutupları/ekvatorel) çap uzunluğu ve ağırlıklarının tahminlenmesi	HSV renk uzayı (değer ve doygunluk kanalları) morfolojik özellikleri	Test edilen tüm koşullarda bağlı ortalama hata<%2,5	(Ponce ve diğerleri, 2018)
Domates	Olgunluk tespiti	Renk (HSI renk modeli)	Hassasiyet: %99,31	(Wan ve diğerleri, 2018)
Turunçgiller	Olgunluk tespiti	Renk Şekil	NIR: %96,00 Derinlik içeren resimler (depth image): 90,60	(Choi ve diğerleri, 2017)

Çizelge 15 ile özetlenen literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında ilgili meyveler için sınıflandırmada ve olgunluk tespiti için hassasiyet değerleri >%90 olarak bulunmuştur. Meyvelerin olgunlaşma süreci renk ile ayırt edilebilirken, üzümde olduğu gibi rengin çok baskın olmadığı durumlar da mevcuttur. Bunun dışında şekli homojen olmayan bazı meyvelerin de sıralama algoritmalarında hassasiyeti düşürebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

4.4.2.7.2.2. Meyvelerin Sayılması ve Verimin Tahminlenmesi

Meyvelerin doğru bir şekilde sayılma işlemi verimin tahminlenmesi aşamasında oldukça önemlidir. Aynı zamanda meyvelerin sayısının erkenden tahmini, işçilik, ambar, hasat yönetim, nakliye, sınıflandırma ve depolamanın planlanması için önem arz etmektedir.

Bu aşamada makine görüşünü kullanarak meyve sayısının tahmini oldukça zor bir süreç olup, meyvelerin sayılması ve büyüklüğünün makine görüşü ile ölçülmesi ancak bir ağaçtaki tüm meyvelerin yapraklar vs tarafından engellenmez iken tespit edilebilmesi ile ilişkilidir. Özellikle olgunlaşma döneminde meyvelerin gölgelere denk gelmesi ve makine tarafından algılanamaması, aynı şekilde meyvenin çevredeki yeşillik ve aydınlatmaya bağlı olarak saptanamaması ile yanlış sayıma neden olabildiği bu teknolojinin zorluklarını oluşturmaktadır. Bu konuda yapılan bazı çalışmalar Çizelge 16’ da verilmiştir.

Çizelge 16. Bitkisel ürünlerin sayılması ve verim tahminlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar

Meyve	Görev	Özellik Tipi	Performans	Kaynak
Kadife çiçeği	Saptama ve sayım	Renk (HSV renk uzayı)	Ortalama hata %5	(Sethy ve diğerleri, 2019)
Domates çiçekleri	Saptama ve sayım	Renk (HSV renk uzayı) Morfolojik (boyut ve yerleşim)	Hassasiyet: %80	(Oppenheim, 2017)
Elma ve portakal	Saptama ve sayım	Piksel temelli	Ortalama hata Portakal: %13,8 Elma: %10,5	(Chen ve diğerleri, 2017)
Elma	Önceden verim tahminlenmesi	Renk (RGB ve HIS) Ağaç gölgelik özellikleri	R ₂ Otsu: 0,82 BPNN: 0,80	(Cheng ve diğerleri, 2017)
Turunçgil	Saptama ve sayım	Renk (HSV renk uzayı)	Ortalama hata: %5,76	(Dorj ve diğerleri, 2017)

Çizelge 16’da gösterilen çalışmalarda genellikle sorunun kompleks arkaplan renkleri ve ağaç yapraklarının oluşturduğu gölgelik alanların meyveleri baskılaması sonucu saptanmada yaşanan problemler olduğu çıkarılmıştır. Meyvenin saptanmasında meyvenin renk özelliğinden yararlanılsa da sayım işleminde meyvenin boyutu önem kazanmaktadır.

4.4.2.7.2.3. Bitki Sağlığının Korunması, Hastalıkların Saptanması Yaklaşımı

Bitki ve meyvelerin sağlıkları birçok faktörden etkilenebilmekte olup bunların başında yabancı otlar gelmektedir. Yabancı otlar ile yetiştirilmek istenen meyve ya da bitkinin ilişkisi besinsel değerler ve su gibi kaynaklar için rekabet etmelerinden kaynaklanmakta ve bu şekilde yetiştirilmek istenen bitki olumsuz etkilenmektedir. Dolayısıyla yabancı otların ortamda erken tespiti, yetiştirilecek bitki/meyvenin büyüme ve kalitesini etkilediği için önemlidir. Sürecin otomatik hale getirilmesi için makine görüşü önem arz etmektedir. Makine görüşünün önceden de belirtildiği üzere hedef bitki ve yabancı ot arasındaki renk benzerliklerinin fazla olması ile ayırımın hassasiyeti düşmektedir. Yabancı otların dışında bitki sağlığını tehdit eden diğer önemli hususlar ise böceklerdir. Böceklerin izlenmesinin otomatik hale getirilmesi yetiştiriciler için bitki/meyvelerin korumasında önemli rol oynayabilecektir. Aynı şekilde makine görüşü hastalık ve bitkilerin besinsel eksikliklerinin tanısında da literatürde kullanılmıştır (Pajares ve diğerleri, 2016). Makine görüşü ile hastalık tespitinde, hastalıklı kısmın rengindeki ve dokusundaki değişkenlik yine algoritmaların zorlandığı bir noktadır. Buna ek olarak aydınlatmanın etkisi de daha önce bahsedildiği üzere bu kısımların rengini etkileyebileceğinden oldukça önemli bir parameter olarak karşımıza çıkmaktadır (Iqbal ve diğerleri, 2018). Bu kapsamda yapılan çalışmalar Çizelge 17’de verilmiştir.

Çizelge 17. Bitki/meyve sağlığının korunması ve hastalıkların saptanması ile ilgili yapılan çalışmalar

Meyve	Görev	Özellik tipi	Performans	Kaynak
Karnabahar	Yabancı ot saptanması	Renk (HSV renk uzayı) Morfolojik	Hassasiyet : %99,04	(Hamuda ve diğerleri, 2017)
Havuç	Yabancı ot saptanması	Renk (HSV renk uzayı)	Hassasiyet : %99,1 F-ölçümü : %99,6 Doğruluk : %99,3	(Knoll ve diğerleri, 2018)
Tarla (genel)	Yabancı ot saptanması	Renk (RGB) Bitki özellikleri (vejetasyon indisleri)	3 farklı veri seti için hassasiyetler; %98,16 %67,91 %87,87	(Milioto ve diğerleri, 2017)
Şeker pancarı	Yabancı ot saptanması	Morfoloji	F-ölçüsü: %76	(Bosilj ve diğerleri, 2018)

Çizelge 17. Bitki/meyve sağlığının korunması ve hastalıkların saptanması ile ilgili yapılan çalışmalar (devamı)

Üzüm	<i>L. botrana</i> saptanması	Renk (gri skalası ve gradyen)	Spesifiklik : %95,10	(García ve diğerleri, 2017)
Üzüm	Asma böceği saptanması	SIFT	Hassasiyet : %86,00	(Pérez ve diğerleri, 2017)
Çilek	Zararlı böcek saptanması	Renk (HSI renk uzayı) Morfolojik	Ortalamaların kare hatası (MSE) : 0,471	(Ebrahimi ve diğerleri, 2017)
Kahve yaprakları	B, Ca, Fe, K eksikliğinin saptanması	Renk Şekil Tekstür	F-ölçüsü: %64,90	(Vassallo-Barco ve diğerleri, 2017)
Bitkiler	Hastalık saptanması	SIFT İstatistiksel özellikler	Doğruluk: %78,70	(Hlaing ve Zaw, 2017)
Buğday	Buğday yaprakları üzerindeki yara/bere tespiti	Renk	Doğruluk : %84,17	(Hu ve diğerleri, 2017)
Patates yaprakları	Hastalık tespiti	Renk Tekstür İstatistik	Doğruluk : %93,70	(Islam ve diğerleri, 2017)
Seradaki sebzeler	Yaprakta hastalık tespiti	CCF + ExR	Hassasiyet : %97,29	(Islam ve diğerleri, 2017)
Turunçgil	Hastalık tespiti	Renk (RGB, HSV renk uzayları) Tekstür	Doğruluk : %99,90	(Ali ve diğerleri, 2017)
Turunçgil yaprakları	Hastalık tespiti ve sınıflandırma	GLCM	Doğruluk : %90,00	(Zhou ve diğerleri, 2014)
Turunçgil yaprakları	Hastalık tespiti ve sınıflandırma	Renk Tekstür Geometric	3 veri setinde doğruluk: %97,00 %89,00 %90,40	(Prakash ve diğerleri, 2017)
Salatalık yaprakları	Hastalık tespiti ve sınıflandırma	Şekil ve renk	Doğruluk : %85,70	(Sharif ve diğerleri, 2018)
Salatalık ve elma yaprakları	Hastalık tespiti ve sınıflandırma	PHOG	Doğruluk; Elma: %85,64 Salatalık: %87,55	(Zhang ve diğerleri, 2017)
Elma yaprakları	Hastalık tanımlama	Renk Tekstür Şekil	Doğruluk : %94,22	(Chuanlei ve diğerleri, 2017)

4.4.2.7.2.4. Makine Görüşüne Dayalı Tarımsal Robotlar

Otların biçilmesi ya da gübreleme gibi manuel olarak gerçekleştirilen tarımsal faaliyetler tarımdaki dijitalleşme ile yerlerini tarımsal robotlara bırakacaktır. Artan gıda talebi ile gerektirdiği iş gücü ve zaman pahalıya mal olmakta ve bu süreçlerin belli bir süreden sonra otomatik hale gelmesi kaçınılmazdır. Otomatik olarak yönlendirilen bu tarım araçları yorulmadıkları için daha efektif çalışabilir ve operatörün iş yoğunluğunu azaltabilir. Dolayısı ile tarımsal faaliyetlerde verimlilik ve işletme güvenliği artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı literatürde hasat, ayıklama, ilaçlama, nakliye gibi spesifik işlemleri yüksek hassasiyet ile gerçekleştiren bazı tarımsal robotlar tanıtılmıştır.

Bu robotların temel amacı, tanımlanan hedefleri çevrimiçi olarak algılamak ve son derece hassas şekilde bu spesifik görevlerin yerine getirilmesidir. Tarım robotları ile işçilik maliyetlerinden tasarruf edilebilir, çalışanların riskli işlemler gerçekleştirmesi önenebilir ve çiftçilerin tarımsal süreçler ile ilgili yönetsel kararlarına yardımcı olacak güncel ve kesin bilgiler sağlanabilir.

Robotlar endüstride otomasyon için yaygın olarak kullanılsa da, tarımda robotların kullanım alanı oldukça nadir görülmektedir. Bunun nedenlerinden birkaçı endüstriyel ortamların tarımsal alanlara kıyasla temiz, kuru, öngörülebilir ve iyi aydınlatılmış olması; buna karşılık tarlaların ışık, hava ve arazi açısından öngörülemeyen koşullar barındırmasıdır. Ayrıca endüstri için tek tip homojen bir üretim söz konusu iken tarımda ürünlerin renk, boyut, şekil bakımından heterojen dağılımları, ürünlerin yaprak vb. materyaller ile kaplı olması, işlenmeye karşı hassasiyet göstermeleri süreci zorlaştırmaktadır. Bu nedenle tarım robotları çevresel parametrelerin doğal çevreye nazaran kontrol edilebildiği sera ya da laboratuvar şartları ortamında daha sık kullanılmaktadır. Bununla birlikte görüşe dayalı bazı tarım robotları gerçek saha denemelerinde de test edilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları Çizelge 18' de özetlenmiştir.

Çizelge 18. Makine görüşüne dayalı tarım robotları ile ilgili çalışmalar

Tanım	Uygulama (yıl)	Kaynak
Bitki, yabancı ot ve toprak bilgilerini ayırt eden ve ekinlerin korunması için geliştirilen görsel tabanlı robot.	Karnabahar, şekerpancarı, buğday (1996)	(Marchant, 1996)
Meyve seçimi ve toplama aşamasında insan müdahalesi olmadan süreci otonomlaştıran robot. Meyve seçimi sırasında makine görüşü çerçeve segmentasyonu aşamasında rol oynar	Yarı - otonom portakal toplama robotu (2005)	(Muscato ve diğerleri, 2005)
Dikim sıralarını içeren haritaya göre navigasyon sistemini kullanarak izlenecek yolu takip eden robot	Ekim simülasyonu ve “Field robot Event” isimli yarışmada sahada test edilmiştir (2006)	(Ortiz Olivares, 2006)
Herbisitlerin tohum sıralarında (seed line) kesin (precise) uygulanması için geliştirilmiş bir robot. Herbisitin püskürtüleceği objenin tanınması, hedefe mikrodozajın uygulanması ve otonom olarak bir sonraki hedefe yönelmesi amacıyla kullanılmıştır	Deneyler kontrollü koşullar altında kapalı mekanda gerçekleştirilmiştir (2007)	(Søgaard Lund 2007)
Boyut ve kusurların ayrımını sağlayan robot. Meyveleri optimal olarak uygun konteynirlara doldurur ve konteynir dolduğunda yeni bir konteynir alarak kaldığı yerden toplama işlemine devam eder	Otonom kivi toplayan robot (2009)	(Scarfe ve diğerleri, 2009)
Makine görüşü kullanılarak ekinleri eş zamanlı tanımlayabilen robot	Sebzelerin yetiştirildiği küçük bir tarlada test edilmiş (2010)	(Xue ve Liming, 2010)
Makine görüşü ve GPS yönlendirmesine dayanan hasadı gerçekleştiren robotların uygun yolu bulması için geliştirilen algoritma	Elma toplama amacı ile meyve bahçesinde test edilmiş (2011)	(He ve diğerleri, 2011)

4.4.2.8. Günümüzde Tarımda Dijitalleşme ile Bizi Neler Bekliyor?

Tarımsal üretim ve endüstriyel üretim temelde birbirinden farklıdır. Çoğu endüstriyel üretim sürecinin aksine, çiftçi canlı bitki ve hayvanlar ile ilgilenmelidir. Ayrıca tarım, üretim esnasında aksamalara neden olabilen karmaşık ve dinamik üretim koşullarıyla (hava, iklim vs.) karakterize edilen, tahminlenmesi zor ve yalnızca sınırlı bir ölçüde kontrol edilebilen parametreler ile yönetilmektedir. Tarımsal faaliyetlerin yönetiminde en önemli konuların başında verimlilik gelmektedir. Diğer sektörler ile karşılaştırıldığında tarımsal ürünlerin verim artışlarının çok hızlı ve çok daha fazla olduğu görülmüştür. Günümüz tarımında artan nüfusun beslenebilmesi ve küresel ısınma ve benzeri durumların önlenmesi amacı ile tarımsal faaliyetlerde verimi yüksek, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı bir tutumun sergilenmesi amaçlanmaktadır.

Tarımda dijitalleşme, tarım sektörü ve tarım sektörü ile ilgili üst ve alt sektörlerdeki ortakları için çok sayıda ve çeşitli fırsatlar yaratmaktadır. Bu grubun en büyük yararlanıcıları gıda sektörü, tüccarlar ve tüketiciler olmaktadır. Dijitalleşme bu değer yaratma zinciri süresince izlenebilirliğin yanı sıra hem dokümantasyon hem de şeffaflığa izin vermekte ve süreç yönetimini basitleştirmektedir. Dijital tarım, tüketicileri ve çiftçileri birbirine yaklaştırabilir. Basitleşen gıda izlenebilirliği ve prosesler hakkında elde edecekleri detaylı bilgiler ile tarımsal üretim ve gıdalar hakkında daha fazla bilgi sahibi olurlar ve üreticilere gösterilen takdir, destek daha da artabilir. Dijitalleşme süreci ile birlikte uygun becerilere sahip kalifiye uzman personele olan talep de aynı oranda artacaktır. Çiftliklerin sürdürülebilir bir şekilde devam ettirilmesi için personellerin sürece uygun olarak sürekli bir eğitim ve öğretim içerisinde olmaları, kendilerini güncellemeleri ayrıca önem arz eden konulardan olacaktır.

Sonuç olarak dijitalleşen tarım ile yönetilen tarımsal faaliyetler daha üretken, sürdürülebilir ve başarı oranı yüksek sonuçların alınması kaçınılmaz olup aynı zamanda kırsal alanlardaki üretimi de geleceğe uygun hale getirerek kırsal alanlardaki tarımsal faaliyetlerin varlıklarını sürdürmelerini destekleyecektir.

4.5. Eğitim Sektörü ve Dijitalleşme

Dijitalleşme farklı kaynaklardan gelen verilerin dijital dile çevrilmesi olarak tanımlanabilir. Bu şekilde bilgiler ses, video, metin veya herhangi bir formata dönüştürülebilir. İnternet ile birlikte bireysel aktiviteler köklü bir değişikliğe uğramış olup evin dışına çıkılmadan online alışveriş, bilet rezervasyonu, banka işlemleri, elektronik ödemeler, yemek siparişi gibi aktiviteler kolaylıkla gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı ile birlikte kaliteli eğitim kırsal kesimdeki yoksul halka ulaşmasına olanak tanımıştır. YouTube, Coursera, Udemy gibi platformlar vasıtası ile alanında uzman eğitimciler tarafından evrensel kalitede dersler dinlemek mümkün hale geldi. Video ve LCD projektörler gibi görsel veri sağlayıcıların kullanımı öğrencilerin farklı konularda kalıcı bir hafıza oluşturmalarına yardımcı olmaktadır. İnternet ülke sınırlarını kaldırarak evrensel doğru bilginin araştırılmasında adeta bir katalizör görevi görmektedir. Bu tarz bir araştırma farklı milletlerden farklı öğrencilerin farklı platformlar altında buluşmasına imkan tanımakta ve iletişim becerilerini geliştirebilmektedir. Sosyal medya altında bulunan birçok profesyonel

kaynaktan alanında uzman kişilerden direkt olarak ders alınabilmekte, alınan eğitimin kalitesi artmakta ve evrensel anlamda bilgi sahibi olunmaktadır. Ayrıca fiziksel ortamlarda alınan dersler de birçok insani faktör için içine girebilmekte ve dikkat dağınıklığı, hastalık vb. durumlarda alınan derslerin bir tekrarı olmamakta iken internet ortamında video kayıtları ile dikkatin dağıldığı kısımlarda öğrenci video kaydını tekrar tekrar dinleyebilmektedir. Ezbere dayalı sistem online eğitim vasıtasıyla bir nebze kırılabilir ve öğrenciler gerçek hayata alıştıırılabilir. Gerçek hayatta bilgiye ulaşım esas olduğundan tek bir kaynağa bağlı kalmaksızın öğrencilerin global bilgiyi çekip bulması elzem durumdadır. Bu tarz bir eğitim ayrıca öğrenciler için fiziksel zorluklardan arındırıldığı ve görsel materyal zenginliği ile birlikte öğrenmeye de teşvik edebilecektir. Global ölçekte farklı eğitim platformlarını “Udemy, YouTube, Khan Academy, Coursera, Amazon Kindle, Udacity, Solo Learn, Photomath, Duolingo, LinkedIn Learning” olarak sıralayabiliriz.

Aarhus Üniversitesi’nden araştırmacılar içinde bulunduğumuz dijitalleşme çağında eğitim ve öğretim konusunda gelecekte bizi nelerin beklediğini ve bu değişimin 3 dalga halinde gerçekleşeceğinden bahsetmişlerdir. Ortaya koydukları çalışmada dijitalleşmede medyanın ne gibi etkiler yaratacağı, öğretmenler ve öğrencilerin bu yeni eğitim öğretim sürecine ne gibi tepkiler verebileceğini, hangi zorlukların ortaya çıkabileceğini, ne gibi imkanlar sunulacağı, öğrenci ve öğretmenler arasındaki eğitim etkileşiminin ne ölçüde değişeceği gibi sorulara cevaplar aramışlardır (Tække ve Paulsen 2017).

Eğitimde sosyal medyanın hayatımıza girmesi ile birlikte kendini ifade etme, katılım, işbirliği yapma, bilgiye ulaşım, birlikte öğrenme, yardımlaşma, öğretmen geri bildirimleri, paylaşılan ve depolanan notlar daha interaktif bir eğitim-öğretim sürecini doğuracak ve bahsedilen fırsatları artıracaktır (Crook, 2008; Moody-Ramirez, 2010). İnteraktif eğitimin yanı sıra yapılan araştırmalar eğitimdeki dijitalleşme ile daha iyi toplulukların oluşturulma potansiyeline işaret etmektedir. Burada sosyal medyanın doğru kullanılması ile birlikte öğrencilerin birbirlerini tanınması, birlikte çalışmalarını, arkadaşlık ilişkileri, bağlantı kurmaları, sosyal ağ oluşturmaları ve topluluklar oluşturmaları için iyi fırsatlar sağlayabilir (Blanchard ve Markus, 2004; Wright, 2010; Webb ve diğerleri, 2012). Eğitim ve sosyal medya kombinasyonunun irdelendiği diğer araştırmalarda öğrenciler için okuldaki çalışma ortamının iyileştirilebileceği, okul ve öğrenciler

arasındaki temas ile aynı ve farklı dönemler arası temasının da artırılabilceği, okul etkinliklerine katılım oranlarının iyileştirilebileceği gibi sonuçlara varmışlardır (McNely, 2009; Reid, 2011).

Sosyal medyanın diğer bir olumlu etkisi ise bölgesel ya da küresel ölçekte öğrencilerin kendilerini çevreleyen topluluklar ile daha iyi iletişimine olanak tanınması olacaktır (Lovari ve Giglietto, 2012). Bazı araştırmalarda sosyal medyanın eğitime entegrasyonu ile birlikte öğrencilerin zor bulduğu konularda motivasyon ve bağlılık arttırıcı etkilerinin altı çizilmiştir. Bu şekildeki bir öğretim modeli ile yüksek çeşitlilik elde etmek mümkün olup geleneksel sınıf eğitiminin aşılması mümkündür (Junco ve diğerleri, 2011; Yaros, 2011; Elavsky, 2012). Yapılan diğer araştırmalarda sosyal medyanın eğitime entegrasyonu ile öğrencilerin kazandıkları medya ve bilgi teknolojileri becerileri ile birlikte günümüzde dijital medyanın nüfuz ettiği çağdaş topluma ayak uydurma süreçleri ivme kazanarak bu sürece daha iyi hazırlanacaklarının altını çizmektedir (Lowe ve Laffey, 2011; Rinaldo ve diğerleri, 2011).

Eğitimin dijitalleşmesinin avantajlarının yanında maddi durumu düşük olan öğrenciler bu imkanlardan faydalanamayabilir, yalnız başına öğrenme konusunda motivasyon eksikliği yaşayan öğrenciler negatif bir şekilde etkilenebileceği düşünülebilir.

4.6. Sağlık Sektörü ve Dijitalleşme

Sağlık sektöründeki dijitalleşme ve bilgiye dayalı kurulan sistemler sadece sektörel çapta değil aynı zamanda insanların yaşamı üzerine dokunacağından daha kalıcı bir etkiye sahip olmaları söz konusudur. Demografik değişim ile tehdit eden artan maliyetlerin çözülebilmesi için diğer sektördeki dijitalleşmelerin yanında e-sağlık potansiyelinden yararlanmanın da önemi büyük olacaktır. Sağlık sektöründe bu kapsamda iki önemli hedef, hastalık vb. durumların önlenmesi ve tıbbın kişiselleştirilmesi ile daha kesin çözümler sunulabilmesidir. Özellikle tıbbın bireysel hale dönüşmesi bu alanda büyük inovasyonları tetikleyecek olup bireysel olarak hastaların genomlarının dizilenmesi ile kişisel tedaviler uygulanması mümkün hale gelecektir. Hatta gelecekte hastaların genetik bilgileri dışında fizyolojik parametrelerini de içerecek şekilde bireysel hasta kayıtlarının tutulacağı öngörülmektedir (Kagermann, 2015). Bahsi geçen verilerin klinik öncesi ve klinik bilgileri oluşturulması için sürece katkısının olması durumunda, büyük verinin

yeni, bilgi tabanlı servislerin temeli olarak hizmet edebilecek akıllı verilere dönüştürmesi için ilgili algoritmaları klinik uzmanlıkla birleştirmek gereklilik haline gelecektir. Gelecekte kişiselleştirilmiş tıp; hastaneler ve pratisyen hekimler için norm haline gelecek ve hastalar dijital servisler yardımı kendi sağlık bakımlarının sorumluluğunu geliştiren dijital servisler ile üstlenebileceklerdir (Young, 2012) .

Sağlıkta dijitalleşme ve tıbbın bireyselleşmesi ile daha kesin sonuçların alınması dışında bir yandan da sağlık sistemi için maliyet tasarrufu sağlanabilecektir. Nesnelerin interneti ile birlikte hem doktorlara hem de hastalara, hastaların bireysel durumu hakkında bilgi sağlanabilecek, tedavi seçeneklerinin seçiminde önerilerde ve hastalıkların etkin bir şekilde önlenmesi ya da tedavisi için yardımcı olacak tavsiyelerde bulunulabilecektir (Kagermann, 2015). Sağlık sektörü karmaşık, zorlu ve pahalı sektörlerden biri olup günümüzde makine öğrenmesinden sıkça faydalanmaktadır. Makine öğrenmesi, hassas tıp (precision medicine) olarak literatüre giren bireysel tıbbi bakıma imkan vermektedir. BİT alanında kaydedilen ilerlemeye rağmen, sağlık hizmetleri enformatiğinin hala inovasyonlara ihtiyacı vardır. X-ray verileri, DNA dizileri, kan örnekleri, aşılama, hayati belirtiler gibi geniş datalar makine öğrenmesi ile etkili biçimde analiz edilip sonuç türetilmektedir. Sağlık sektörü hastalık tanınması/teşhis, bireysel tedaviler, ilaç keşfi/üretim, klinik deney araştırmaları, radyoloji ve radyoterapi, akıllı elektronik sağlık kayıtları, salgın hastalıkların tahminlenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Akhil ve diğerleri, 2018).

Google, University College London Hastanesi ile kanserli ve sağlıklı hücreleri saptayabilen ve radyasyon tedavisine yardım eden makine öğrenmesi algoritmaları geliştirilmesi konusunda birlikte çalıştığı bilinmektedir. Sosyal medya, web ve uydudan toplanan veriler ile salgın hastalıkların izlenmesi ve tahminlenmesi makine öğrenmesi ve yapay zeka teknolojilerinin sağlık sektöründe yaygın kullanım bulduğu alanlardandır (Faggella, 2020). ProMED-mail ortaya çıkan hastalıkların eş zamanlı olarak izlenmesi ve salgın raporlarının sağlanması amacıyla kullanılan bir uygulamadır. Makine öğrenmesi ve yapay zekanın sağlık sektöründe kullanıldığı bazı startuplar Çizelge 19'da özetlenmiştir.

Çizelge 19. Sağlık sektöründe makine öğrenmesi ve yapay zeka ile ilgili start-uplar

Alan	Startup adı
Hasta verisi ve risk analizi	Roam
	Cloudmedx
	Zephyr Health
	Apixio
	Ensodata
	Medaware
	Lytics
	Medalogi
	Pulse Data
	Health Fidelity
	Medal
	Flash Back Technologies
Yaşam stili yönetimi ve izlenmesi	Wellhok
	Lucina
	Aicure
	Intendu
	Ovla Health
	Peerwell
Beslenme	Nuritas
Acil Odası ve Ameliyat	Medasense
	Gauss Surgical
Yatılı tedavi bakımı hastane yönetimi	Jvion
	Qualaris
	Analytics Md
Medikal görüntüleme ve teşhis	Baylabs
	Zebra
	Arterys
	Enlitic
	Deep Genomics
	Curemetrix
	Pathway Genomics
Mental sağlık	Tao
	Ginger Io
İlaç keşfi	Globavir
	Numerate
	Numedii
	Benevolent Ai
Sanal asistanlar	Buoy
	Medwhat
	Sophie Bot
	Yourmd
	Babylon
Giyilebilir aksesuarlar	Atlas
	Biobeats
	Crycadia
	Physiq
	Touch Kin
	Sentrian
Crycadia	

Sonuç olarak makine öğrenmesinin sağlık sektörü verilerine uygulanması ile;

- ✓ Güçlü risk modelleri geliştirilebilecek,
- ✓ Artan nüfusa karşı eğitilmiş doktor eksikliği bu vesile ile kapatılabilecek,
- ✓ Mevcut teknolojilerin üretkenliği ve hassasiyeti artırılabilir,
- ✓ Daha fazla hastaya daha kısa sürede hizmet verilmesine yardımcı olunabilir,
- ✓ Daha hassas sonuçlar üretiler,

Sağlık bakımı giderleri azaltılabilecektir.

4.7. Perakende Sektörü ve Dijital Dönüşüm

Her sektör kendi gerekliliklerine göre dijitalleşmeyi uyarlamış ve şirketler bu yeni süreci etkili yönetebilme adına yeni stratejiler geliştirmiştir. Perakende sektörü müşteri deneyimini ve iç süreçleri geliştiren yapay zeka teknolojilerini, simüle edilmiş bir ortam sunan artırılmış gerçeklik yada sanal gerçeklik teknolojilerini, büyük veriye olan ilgiden dolayı bulut bilişim teknolojilerini, müşterilerin ve ekiplerin büyük oranda bağlantıda kalmasını sağlayan nesnelere interneti (IoT) teknolojilerini, otomatik angajman ve operasyonlar sağlayan robotik teknolojilerini, alışveriş deneyimlerini arttırmak için ses yardımcı (voice-assisted) teknolojileri, kayıt tutmada ön plana çıkan blockchain teknolojilerini bu süreçte benimsemişler ve bu teknolojilere yatırım yapmaya devam etmektedirler. Bu teknolojilerin kullanımlarına örnek verilecek olursa yapay zeka teknolojisi ile e-ticaret şirketlerinin web sitesi ziyaretçilerine hem proaktif hem de talep üzerine otomatik hizmet ve destek sağlamasına olanak tanıyan sistemler chatbotlar, dinamik içerikler ve tahminleme algoritmaları ile sağlanmaktadır (Lam ve Chan 2018).

Dijitalleşme, perakende alt sektörlerinin çoğunda müşteri deneyimini tamamen değiştirmektedir. Bu kapsamda çevrimiçi perakende platformları, müşterilere büyük kolaylıklar sunduğundan, perakendeciler, fiziki mağazalarına oranla web sitelerine yatırım yapmaları artık bir zorunluluk haline gelmiştir.

Şirketler de dijitalleşme ile birlikte, sanal giyinme odaları veya ev tasarım araçları gibi, dijital ve fiziksel perakendenin özelliklerini bir araya getiren yeniliklerle alışveriş deneyimini geliştirmeye devam etmektedir.

Tüketicilerin çoğunluğunun bir satın alma işlemi öncesinde yaptıkları çevrimiçi araştırmalar da dijitalleşme ile perakende deneyiminin giderek daha fazla tüketicilerin ellerinde olması anlamına gelmektedir. Ayrıca geliştirilmiş mobil uygulamalar ile ikinci el malların alınıp satılması her zamankinden daha kolay bir hale gelmiştir.

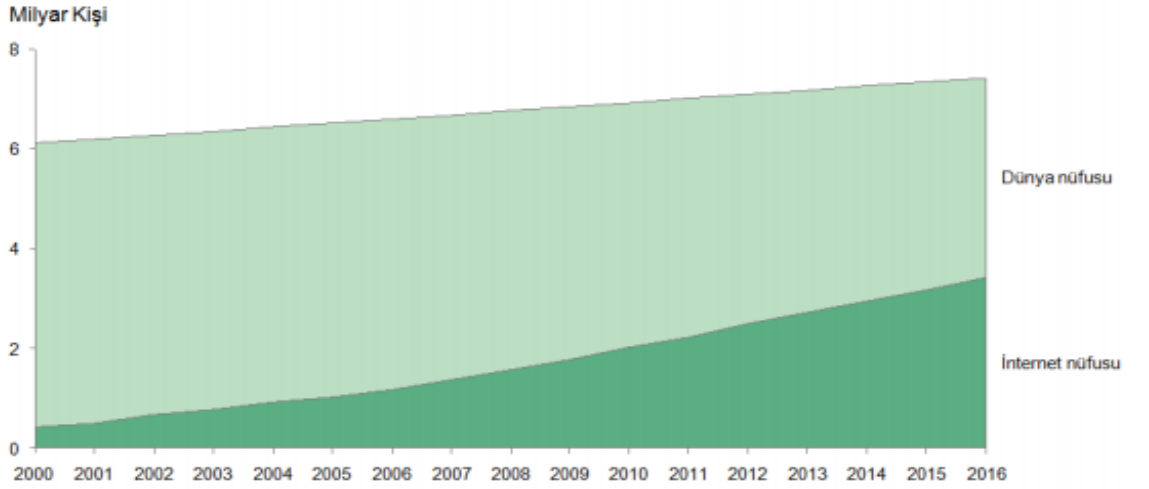
4.7.1. E-Ticaret

Dünya nüfusunun artması ile eş zamanlı olarak internet kullanımı yani diğer bir deyiş ile internet nüfusu da artmaktadır. Gelişmiş ülkeler internet kullanımında belli bir doygunluğa ulaşmışlar ve internet ekonomisinin yeni standartlarının belirlenmesi üzerine kafa yorarlarken, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için internet büyümeyi tetikleyici bir güç olarak karşımıza çıkmaktadır. E-ticaret dünyada hacmini 10 yıl gibi bir sürede 10 kat arttırmış, tüketiciler için alışveriş alışkanlıklarını değiştirirken perakendeciler üzerinde farklı iş modelleri geliştirmelerinde tetikleyici olmuş olup üretici ve tüketiciyi doğrudan etkilemiştir. Gelişmekte olan ülkelerin E-ticaret hacmine olan katkısı 2011 yılı için %32 seviyelerinden 2016 yılında %59 seviyelerine çıkmış olup, toplamda E-ticaret hacmi 1,6 trilyon dolar seviyelerine ulaşmıştır. Aynı zamanda 2011 yılında toplam perakende için %3.6 paya sahip olan E-ticaretin 2016 yılı verilerine bakıldığında %8,5'a yükseldiği göze çarpmaktadır. Bu ticaret hacimlerinin artmasında en önemli paya sahip olan etkenlerden birisi akıllı mobil cihazların kullanımının yaygınlaşması olmuştur. 2016 yılı verileri incelendiğinde, E-ticaret işlemlerinin %44'lük bir payının mobil aygıtlardan gerçekleştirildiği görülmektedir (Kantar ve diğerleri, 2017). E-ticaret hacmini arttıracak bazı teknolojilere chatbotlar gibi sanal müşteri temsilcilerinin algoritmalarının gelişmesi ile daha iyi bir müşteri deneyimi, kişiselleştirilmiş tekliflerin gelişmiş algoritmalar ile daha isabetli teklifler sunması, lojistik için drone gibi farklı uygulamaların pazara girmesi örnek verilebilir.

E-ticaret ile birlikte toplum ve ekonominin sağlayacağı bazı faydaları; kayıt dışılığın azalması, verimlilik ve rekabet gücünün artması, işletmelerin büyümesine katkı sağlaması, istihdamı artırıcı rol oynaması, etkileşimde bulunduğu diğer sektörleri geliştirici ve değiştirici rol oynaması, KOBİ'lerin büyük şirketler ile rekabetine fiziksel ortamı soyutlaması ile olanak sağlaması, uluslararası düzeyde ürün tanıtımları önündeki engellerin kalkması ile ihracat potansiyelini artırıcı etki sağlaması sıralanabilir.

4.7.1.1. Dünyada İnternet ve E-ticaret

2016 verilerine göre dünya nüfusunun %46'sının internet kullanıcısı olarak nitelendirilirken (Kantarıcı ve diğerleri, 2017), 2020 verilerince bu penetrasyon %64,2 oranına yükselmiştir (Çizelge 20) (Anonim, 2021f). Dünya nüfusunun 2000 yılından itibaren ortalama %1,1 artışı söz konusuken internet kullanım oranı her yıl %13,2 artış göstermiş (Kantarıcı ve diğerleri, 2017) ve hızla da kullanım yaygınlığı artmaktadır (Şekil 21).

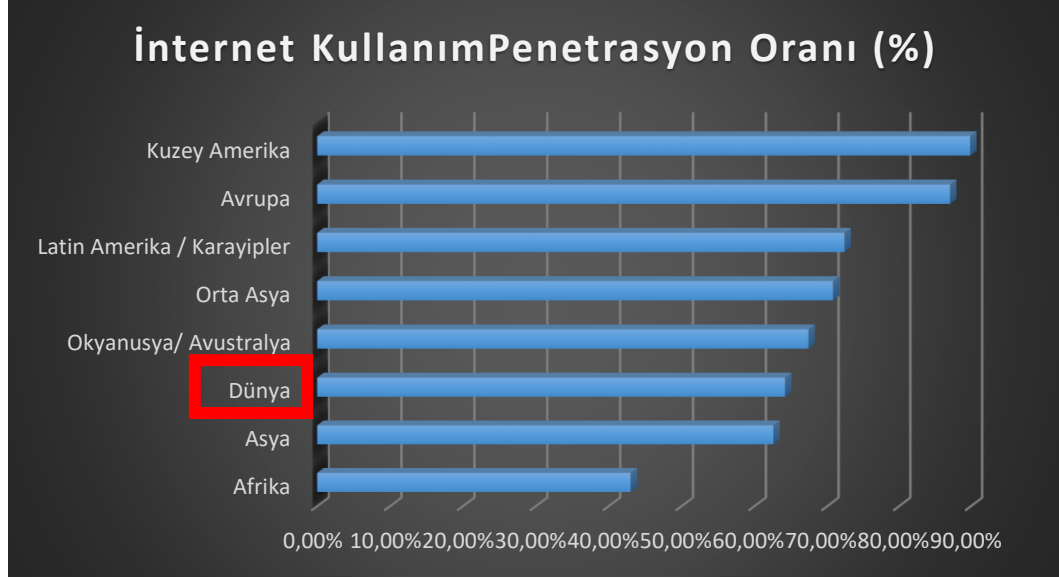


Şekil 21. 2000-2016 yılları arası nüfus ve internet kullanım artışı arasındaki ilişki (Kantarıcı ve diğerleri, 2017)

Çizelge 20. Dünya üzerinde bölgelere göre internet penetrasyonuna dair veriler (Anonim, 2021f)

Bölgeler	Nüfus	Dünya nüfusuna katkı yüzde (%)	İnternet kullanıcıları (31 Aralık 2020)	Penetrasyon oranı (% nüfus)	2000-2021 arası büyüme	İnternet dünyasına katkı (%)
Afrika	1 373 486 514	%17,4	590 296 163	%43,0	%12 975	%11,7
Asya	4 327 333 821	%54,9	2 707 088 121	%62,6	%2 268	%53,6
Avrupa	835 817 917	%10,6	728 321 919	%87,1	%593	%14,4
Latin Amerika/ Karayipler	659 743 522	%8,4	477 869 138	%72,4	%2 544	%9,4
Orta Asya	265 587 661	%3,4	188 132 198	%70,8	%5 627	%3,7
Kuzey Amerika	370 322 393	%4,7	332 919 495	%89,9	%208	%6,6
Okyanusya/ Avustralya	43 473 756	%0,6	29 284 688	%67,4	%284	%0,6
Dünya	7 875 765 584	%100,0	5 053 911 722	%64,2	%1 300	%100

Çizelge 20'deki veriler ışığında Afrika ve Asya ülkelerinin diğer bölgelerdeki internet penetrasyonuna kıyasla dünya ortalamasının altında kaldığı görülmektedir (Şekil 22). Bu bölgelerin dünya nüfusunun çoğunluğunu domine ettiği göz önünde bulundurulduğunda (yaklaşık %70) yüksek nüfusa karşılık düşük penetrasyon, internetin barındırdığı potansiyelin ve artış trendinin devam edeceğinin göstergelerini sunmaktadır.



Şekil 22. İnternetin dünyada yüzde penetrasyon oranı

2012-2016 yılları arasında Kuzey Amerika 46 milyon, Avrupa 96 milyon, Asya ve Pasifik 773 milyon, Afrika ve Ortadoğu 225 milyon, Güney Amerika 129 milyon yeni internet kullanıcılarına erişmiştir. İnternet penetrasyonunda az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin gelecek için katkıları artan genç nüfusları ve dolayısı ile teknoloji kullanıcılarının artması sonucu yaş ortalaması yüksek gelişmiş ülkelere göre daha keskin olacaktır. Örnek olarak Çin'de e-ticaret toplam perakende sektörü içinde 2016 yılında 4 yılda %13 artarak %17 civarına ulaşmıştır. Çin'de e-ticaret hacimlerinin katlanarak yükselmesi ardında akıllı telefon kullanım oranlarının artması, köklü olmayan (derinleşmemiş) perakende sektörleri, kişi başı artan gelir ile ithal ürün talebi, e-ticaret sisteminin olanak tanıdığı ürünler veya hizmetler arası karşılaştırma imkanları, pazardaki imitasyon ürünlere karşı klasik perakendeye

karşı oluşan güvensizlik ve klasik perakende sektörlerindeki hizmet kalite sorunları sayılabilmektedir (Kantarıcı ve diğerleri, 2017).

E-ticaret ile birlikte perakende sektörü yeni süreçlerden geçecek olup sürece girecek bazı teknolojiler büyük verinin toplanması ve işlenmesine dayanan DaaS (hizmet olarak veri); ürünlerin stok durumu, tarih gibi parametreleri dikkate alan dinamik fiyatlandırma sistemi; müşteri hakkında farklı kanallar ile bilgi sahibi olan şirketlerin müşteriye doğru zamanda doğru ürünü sunmasına dayanan eş zamanlı kişiselleştirme; tüketicilere daha samimi gelen ve ürünleri paylaşmalarına sevk eden sosyal medya pazarlaması; sanal gerçeqlik, akıllı aynalar, müşteri dikkat ölçümü gibi teknolojilere dayanan fiziksel mağazanın da dijitalleşmesi; yapay zeka algoritmalarının gelişmesi ile bu sistemin satış ortamına chatbotlar vs. ile entegre edilmesi; teslimat süreci, talep planlaması, stok takibi, depolama gibi süreçlerin sorunsuz işlemesine olanak sağlayan akıllı tedarik yönetimi; aynı gün teslimat hizmeti sunulması ve teslimat noktalarının bu ölçüde arttırılması örnek olarak verilebilir.

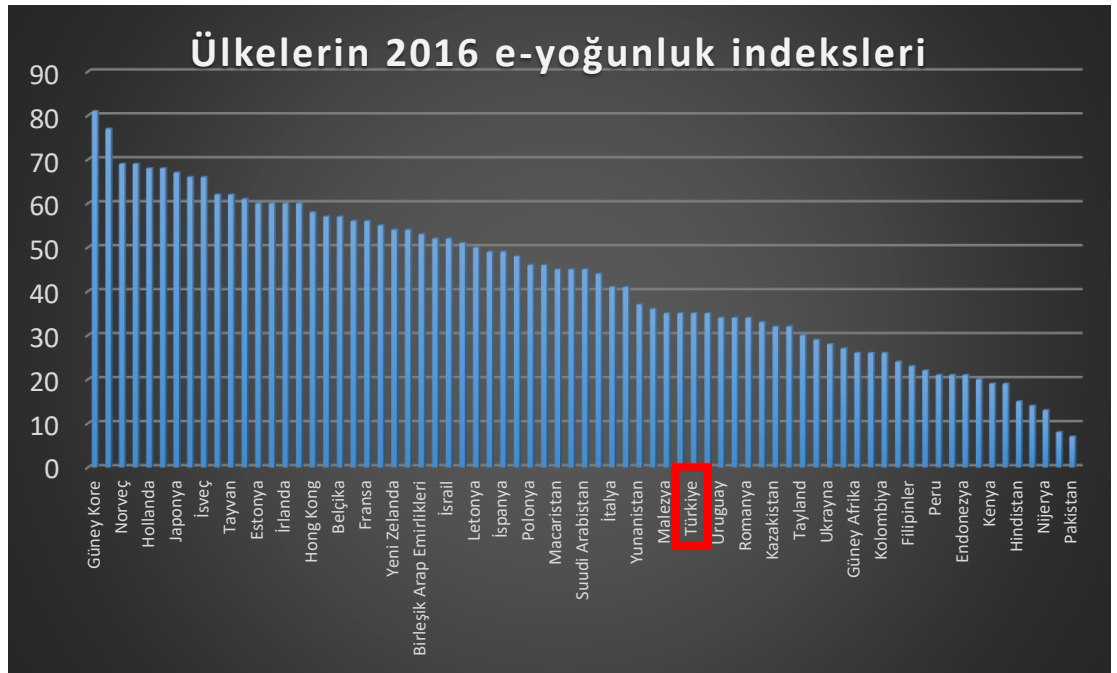
4.7.1.2. Türkiye’de E-ticaret

Türkiye’de E-ticaret istatistikleri incelendiğinde, 46 milyonluk internet nüfusu ve %58’lik internet penetrasyonu ile dünyadaki önemli oyuncular arasında yer almaktadır. 2013-2016 yılları arasındaki e-ticaret hacmi %34 dolaylarında büyümüş ve 17,5 milyarlık bir hacme ulaşmıştır. Türkiye için toplam perakende sektöründe e-ticaretin payı %3,5 ile dünya ortalaması olan %8,5’dan oldukça düşüktür (Kantarıcı ve diğerleri, 2017). Dolayısı ile hala kat edilmesi gereken çok yol vardır. Mobil penetrasyona bakıldığında ise %65 ile dünya ortalaması olan %60’ın üzerinde konumlandığını görülmektedir. Bu oranlardaki mobil penetrasyona rağmen e-ticaret hacminin %19 olarak dünya ortalaması %44’e göre oldukça az bir paya sahip olduğunu anlaşılmaktadır. Bu da yüksek mobil penetrasyona sahip olan ülkemizde ciddi bir potansiyel pazarın olduğunu kanıtlar niteliktedir.

E-ticaret farklı nedenler ile tercih sebebi olabilirken, gelişmiş e-ticaret pazarlarında daha çok kolaylık ön plana çıkarken, tüketiciler açısından ucuzluk hala en önemli

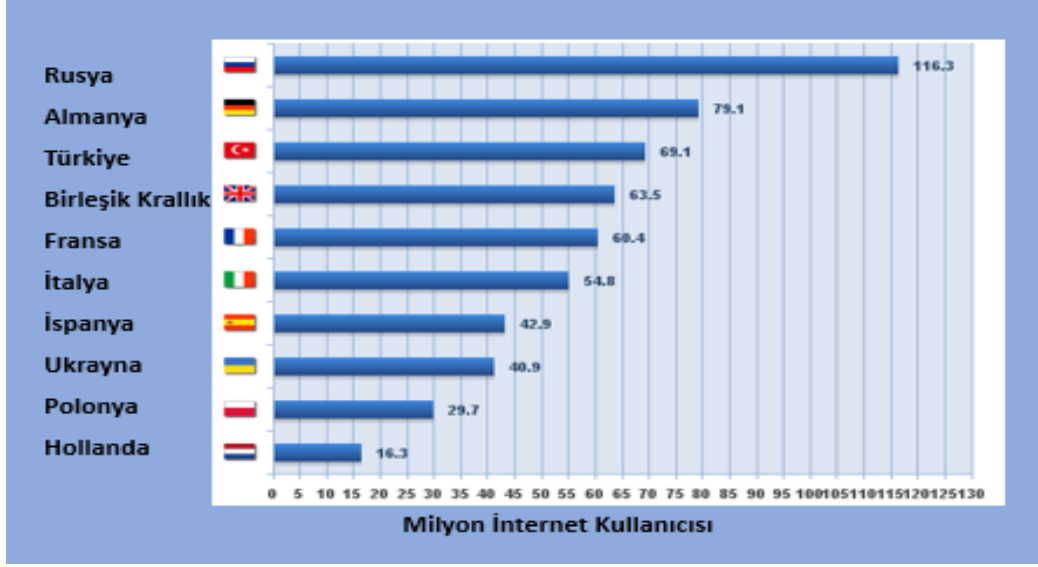
etkenlerin başında gelmektedir. Ülkemizdeki tüketicilerin e-ticaret üzerine algısına bakıldığında her 3 müşteriden 1'inin online alışverişi tercih ettiğini görülmektedir (Kantarıcı ve diğerleri, 2017).

Ülkelerin altyapı gelişmişliğini desteklemesi; tüketicilerin e-ticaret hacimleri ve dijital reklam harcamaları; tüketiciler, devlet ve işletmelerin internet kullanım sıklığı gibi parametrelerin imkan sağlama, harcama ve katılım ana başlıkları altında yorumlanmasına dayanan BCG tarafından oluşturulmuş e-yoğunluk indeksine göre Türkiye gelişmiş ülkelerin arkasında kalmış (indeks: 35) ama profili gelişmekte olan ülkelere oldukça benzer çıkmıştır (Şekil 23). Daha önce bahsedildiği üzere gelişmekte olan ülkelerin barındırdığı potansiyelleri Türkiye için de söylemek mümkündür.



Şekil 23. Ülkelerin 2016 e-yoğunluk indeksleri

Dünyanın en kalabalık 19. Nüfusuna sahip ülkemiz, 2016 yılı verilerine göre dünya üzerinde internet nüfusu bakımından 17. sırada (Kantarıcı ve diğerleri, 2017) ve 2019 verilerine göre Avrupa'da üçüncü sırada yer almaktadır (Şekil 24) (Anonim, 2019).



Şekil 24. Avrupa’da internet kullanımı (Anonim, 2019)

Aynı zamanda akıllı telefon penetrasyonunda da 2010 yılında dünya ortalamasının (%9,6) altında kalan Türkiye (%6) 2014 yılında dünya ortalamasından (%60) 5 puan artarak %65 oranlarına ulaşmıştır (Meena O'Grady 2016). Artan mobil penetrasyon ile 2016 yılında e-ticaret hacmi 30,8 milyar TL seviyelerine ulaşmıştır. Sadece online perakende verilerine göre 2014’den 2016’ya gelindiğinde %77 lik bir artış gerçekleşmiştir (TÜBİSAD, 2017).

4.7.1.3. Türkiye’de E-ticaretin Büyümesi için Ele Alınması Gereken Konular

Türkiye’de e-ticaret hacmi internet, lojistik ve ödeme gibi alanlardaki alt yapısının artırılması, KOBİ’ler ile mega ve büyük perakendecilerin e-ticaret ekosistemine entegrasyonunun teşvik edilmesi, algı ve dijital okuryazarlığın artırılması, sektör ve idari yapı arasında etkili iletişimin sağlanması, düzenleyici organizasyonların mevzuatı bu sektörün gelişimini teşvik edecek, destekleyecek şekilde düzenlenmesi gibi faaliyetler ile artırılabilir. TÜİK’ in 2016 yılında yürüttüğü araştırma verilerince, vatandaşların %39’unun hiç internet kullanmadığı, geriye kalan kesimde ise her 3 kişiden 1’inin internet üzerinde alışveriş yaptığı raporlanmıştır. TÜİK’ in 2020 yılında gerçekleştirdiği güncel çalışmasında ise internet kullanmayan nüfusun %21’e gerilediğini yani diğer bir deyiş ile 4 senelik süreç içerisinde internet erişiminin bireyler arasında yaklaşık %18 arttığı söylenebilir.

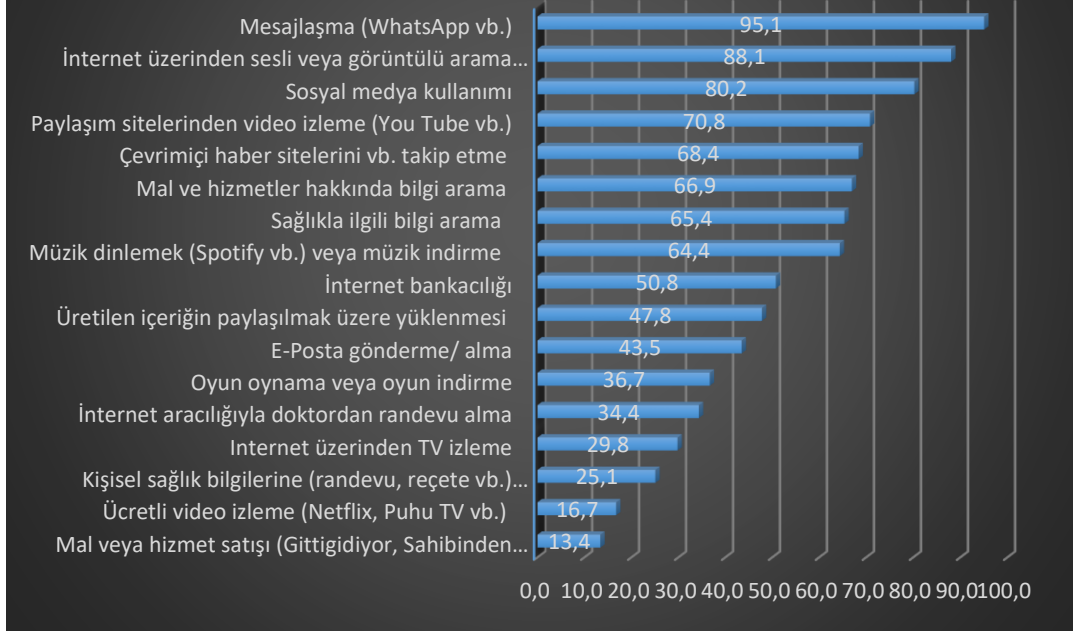
2016 yılında hanelerin internet erişimi %76,3 iken, 2020 yılında bu oran %90,7 seviyelerine ulaşmıştır (Anonim, 2020b).

TÜİK 2020 “Son Üç Ay İçinde İnternet Kullanan Bireylerin İnterneti Kişisel Kullanma Amaçları” verilerine göre (Anonim, 2020b) bireyler arasında internetin kullanım amaçları farklılık göstermekle beraber internet kullanımını domine eden istatistikler şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ %95,1 mesajlaşma
- ✓ %88,1 internet üzerinden sesli ya da görüntülü arama
- ✓ %70,8 paylaşım sitelerinden video izleme
- ✓ %65,4 sağlık ile ilgili bilgi arama
- ✓ %50,8 internet bankacılığı
- ✓ %64,4 müzik dinleme
- ✓ %68,4 çevrim içi haber siteleri, gazete ya da haber dergileri takip etme
- ✓ %66,9 mal ve hizmetler hakkında bilgi arama
- ✓ %80,2 sosyal medya kullanımı

2020’ye ait bireylerin internet kullanım amaçları ile ilgili diğer istatistikler Şekil 25’de verilmiştir.

2020'de bireylerin internet kullanım amaçları



Şekil 25. 2020’de bireylerin interneti kişisel kullanım amaçları

Bunlara ek olarak 2020 yılı TÜİK “Cinsiyete göre son 3 ay içinde kişisel kullanım amacıyla bireylerin internet üzerinden sipariş verdiği ya da satın aldığı mal ve hizmet türleri“ verilerince tüketicilerin almış olduğu ürün ve hizmetler detaylı olarak Şekil 26’ da görselleştirilmiştir.

Kişisel kullanım amacıyla bireylerin İnternet üzerinden sipariş verdiği ya da satın aldığı mal ve hizmet türleri

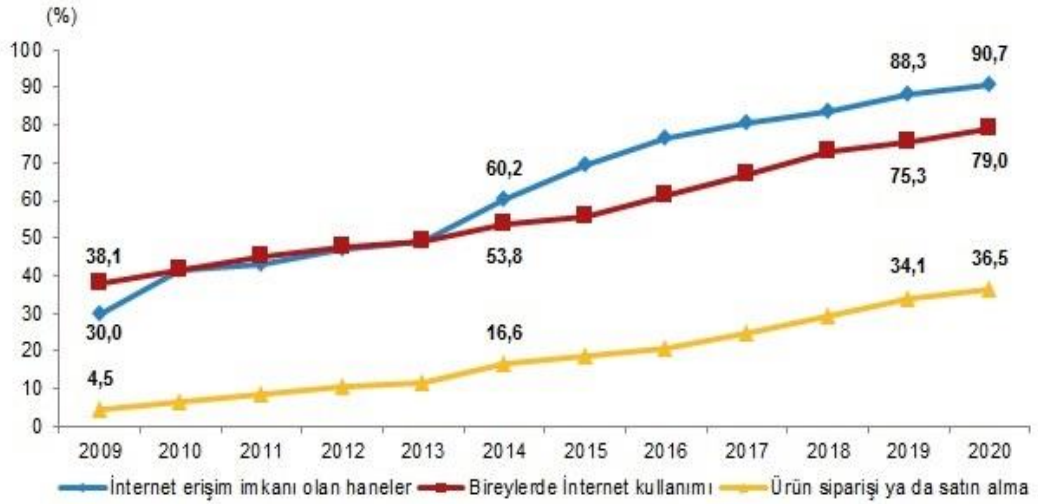


Şekil 26. Kişisel kullanım amacıyla bireylerin İnternet üzerinden sipariş verdiği ya da satın aldığı mal ve hizmet türleri

2020 yılı TUIK verilerine (Anonim, 2020b) göre kullanıcıların 2018-2020 yılları arasında cep telefonu kullanımlarının yüzdesel artışı:

- ✓ 16-24 yaş : %93,2' den %94,2
- ✓ 25-34 yaş : %97,1'den %98,0'e
- ✓ 35-44 yaş : %95,9'dan %97,6'ya
- ✓ 45-54 yaş : %92,8'den %96,2'ye
- ✓ 55-64 yaş : %88,5'den %92,8'e
- ✓ 65-74 yaş : %76,5'den %86,5'e yükselmiştir

Bu istatistikler şirketler bakımından oldukça önemli olup geleceğin tahminlenmesinde önemli bir indikatör görevi görmektedir (Şekil 27).



Şekil 27. TÜİK Hanehalkı Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2009-2020 yılları arası internet kullanımı ve e-ticaret istatistikleri dağılımı (Anonim, 2020b)

Yıllara göre algı ve dijital okuryazarlık artmıştır, fakat bu süreç farklı politikalar ile daha da ivmelendirilebilir. E-ticaret hacimlerinin artışında sınırlandırıcı bir faktör olarak tüketicilerin güven unsuru başta gelmektedir. Ödeme ve iade süreçleri hakkında tüketicilerin bilgilendirilmesi ve online alışverişlerde farklı kampanyaların yapılması geçiş sürecini hızlandırabilecektir. Ayrıca tüketiciler aldıkları hizmetlerde teslimatın belirtilenden daha yavaş olması, yanlış ürün ya da hizmet teslimi, ödeme esnasında oluşan teknik arızalar, dolandırıcılık gibi konular ile ilgili şikayetleri bulunmaktadır. Bu konularda da gerekli altyapı güçlendirmeleri yapılmalıdır. E-ticaret için çok önemli bir potansiyel barındıran diğer bir unsur KOBİ'lerdir. Türkiye'de istihdamın çoğunluğunu oluşturan KOBİ'ler e-ticaret faaliyetlerine uzak kalmışlardır. Elektronik ortama geçiş Turquality tarzında farklı programlar ile desteklenerek UI/UX tasarımları, uygulama geliştirilmesi, ödeme sistem altyapılarının oluşturulması ve sisteme entegrasyonları gibi teknik altyapı süreçlerinde çözümler sağlayarak e-ticaret hacminin artmasına olumlu etkide bulunabilir.

4.8. Finans Sektörü ve Bankacılığın Dijital Dönüşümü

Finans sektörü, bilgi ve iletişim teknolojisine diğer tüm endüstrilerden daha fazla yatırım yapmaktadır.

Bu alandaki yenilikler, dijital işlemlerin (para transferi vs.) ile başlayıp, yönetim ve satış faaliyetlerinin dijitalleşmesine doğru ilerleyen daha geniş dijital eğilimleri takip etmiştir. Gün geçtikçe ek dijital yenilikler bireysel bankacılık olanaklarını genişletmektedir.

Geçmişte müşteriler tüm bankacılık faaliyetlerini normal çalışma saatleri içinde planlamak zorunda kalırken, günümüzde bilgisayarlar veya mobil cihazlar aracılığıyla çevrimiçi bankacılık işlemlerini çok kısa sürelerde yapabilmekteler. Hatta insanlar bankaların ATM'leri kullanılarak çek ödemelerini dahi gerçekleştirebilmektedir. Günümüzde müşteriler şu anda mevcut olan çok sayıda farklı para transferi uygulamasından ve web sitelerinden de işlemlerini gerçekleştirme aşamasında yararlanabilmektedir.

4.8.1. Bankacılık

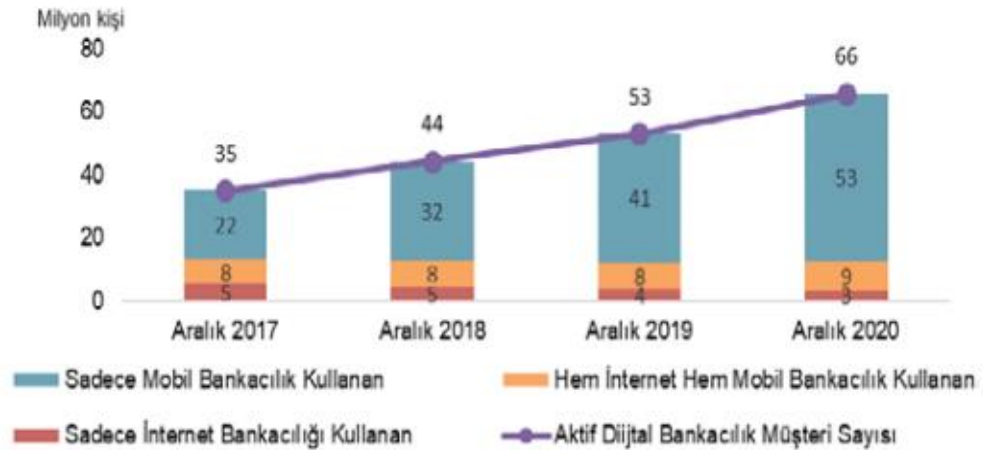
İtalyanca'da masa, tezgah anlamlarına gelen banca kelimesi Türkçe'ye banka olarak geçmiştir. Kişiler, devletler ya da işletmelerin, sermaye ve para ile ilgili konularda her türlü işlemlerini yapan, hazırlayan yada bunların yapılmasına aracılık eden finansal kuruluşlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir başka deyiş ile bankaların temel işlevi para alıp satmak ve bu iki amaca hizmet etmektir. Ülkemizde bankacılık kanununun tanımlamasına göre 3 farklı banka tanımlaması verilmektedir. Bunlar mevduat bankası, katılım bankası, kalkınma ve yatırım bankası olarak karşımıza çıkmakta olup her birinin işlevi farklıdır. Bankacılık terimi ise bu işletmelerde gerçekleşen işlemlerin ve faaliyetlerin bütünü olarak karşımıza çıkmaktadır (Anonim, 2020a).

4.8.2. Bankacılığın Dijital Dönüşümü

Bankacılık sektörü dijitalleşme sürecinde; IoT, büyük veri, siber güvenlik, bulut depolama ve bilişim sistemleri, hukuki altyapı, yapay zeka, optik karakter tanımlaması (OCR) - Akıllı karakter tanımlaması (ICR) teknolojileri, robotik süreç otomasyonu gibi teknolojilerden faydalanmaktadır.

Uygulama alanlarını ise bankaların internet şubeleri, mobil şubeleri, yapay zeka uygulamaları, ATM'ler, dijital bankacılık ve blockchain teknolojisi oluşturmaktadır.

Türkiye Bankalar Birliği tarafından Türkiye Bankalar Birliği üyesi, internet bankacılık hizmeti veren 27 banka ve mobil bankacılık hizmeti veren 21 banka verisinden oluşan “Dijital, İnternet ve Mobil Bankacılık İstatistikleri”, Aralık 2020 raporuna göre dijital bankacılık istatistiklerine bakıldığında müşteri sayısının 2020 yılı için yaklaşık 66 milyona ulaştığı tespit edilmiştir. Bu rakamın yaklaşık 3 milyonu sadece internet bankacılığı işlemlerini gerçekleştirirken yaklaşık 53 milyonu sadece mobil bankacılık işlemi gerçekleştirmiş ve her iki işlemi de gerçekleştirenlerin sayısı yaklaşık 9 milyon olarak verilmiştir (Şekil 28) (Anonim, 2020a).



Şekil 28. 2017-2020 yılları arası dijital bankacılık istatistikleri (Anonim, 2020a)

Mobil şubeler akıllı telefonlara erişimin artması ve her yerden işlem yapabilmeye olanak sağlaması ile giderek yaygınlaşan bir kullanıma sahiptir (Şekil 29). Bu kapsamda bankalar için mobil platform yenilikçi projelerde en çok önem verdikleri alanı oluşturmaktadır. Mobil şubeler ile müşterilere daha kolay bir şekilde erişim sunan parmak izi, yüz tanıma teknolojileri gibi teknolojiler günümüzde sıklıkla kullanılmakla birlikte bu teknolojilerden mahrum kalan bankaların dijitalleşme

süreçlerinde artan mobil bankacılık kullanımı potansiyelini elinin tersi ile ittiği söylenebilir.

	Ekim-Aralık 2019	Temmuz- Eylül 2020	Ekim-Aralık 2020
Bireysel müşteri sayısı (bin kişi)			
Aktif (A) (son 3 ayda 1 kez login olmuş)	47.799	57.353	60.334
Kayıtlı (B) (en az 1 kez login olmuş)	75.141	88.969	93.974
Kayıtlı (C) (son 1 yılda en az 1 kez login olmuş)	57.272	67.981	71.743
Aktif (A) / kayıtlı (B) müşteri oranı (yüzde)	64	64	64
Kurumsal müşteri sayısı (bin kişi)¹			
Aktif (A) (son 3 ayda 1 kez login olmuş)	1.479	2.018	2.166
Kayıtlı (B) (en az 1 kez login olmuş)	2.897	3.684	4.087
Kayıtlı (C) (son 1 yılda en az 1 kez login olmuş)	1.907	2.521	2.813
Aktif (A) / kayıtlı (B) müşteri oranı (yüzde)	51	55	53
Toplam müşteri sayısı (bin kişi)¹			
Aktif (A) (son 3 ayda 1 kez login olmuş)	49.279	59.371	62.500
Kayıtlı (B) (en az 1 kez login olmuş)	78.039	92.654	98.061
Kayıtlı (C) (son 1 yılda en az 1 kez login olmuş)	59.180	70.501	74.556
Aktif (A) / kayıtlı (B) müşteri oranı (yüzde)	63	64	64

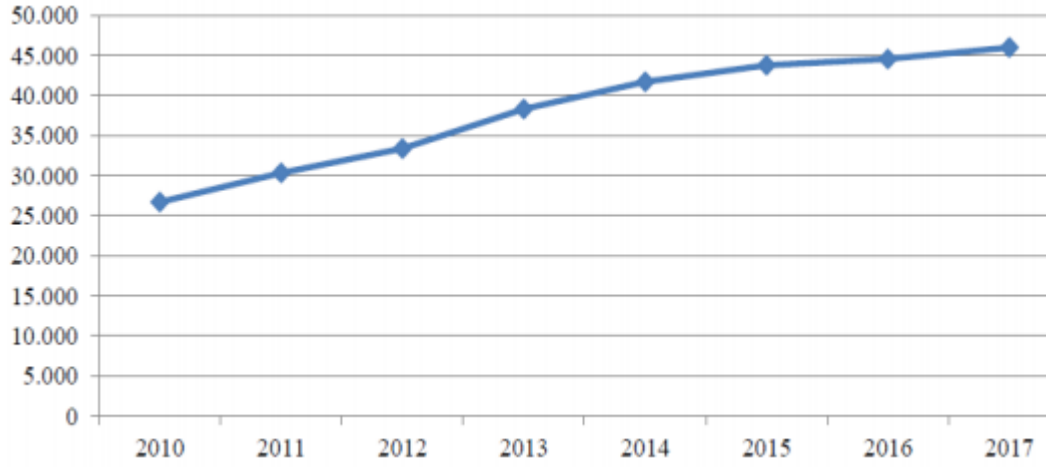
¹ Temmuz-Eylül 2020 dönemi verisi revize edilmiştir.

Şekil 29. 2019-2020 yılları arasında mobil bankacılık kullanan müşteri sayısı (Anonim, 2020a)

Bankacılık sektöründe yapay zeka uygulamalarında akıllı asistanlar ve chatbotlar gibi yenilikler karşımıza çıkmaktadır. Türkiye’de Vakıfbank uygulamasındaki Bibi, Garanti BBVA’nın projesi olan Ugi, küreselde Bank of America’nın geliştirmiş olduğu Erica, American Express’te ise geliştirilen Amex gibi yapay zeka robotları ile müşterilere ulaşım ve bu teknolojilerin müşterilere en az efor ile maksimum işi yaptırabilecekleri sistemlere evrilmesi ancak yapay zeka teknolojisinin vadettikleri ile mümkün olabilmektedir. Müşteri deneyiminin geliştirilmesi için kullanılan diğer bir yöntem de sesli komutlara dayanmaktadır. Bir diğer teknoloji chatbotlar olmakla birlikte 2023 yılına kadar aktif kullanımları sonucunda 11.5 milyar USD tasarruf edileceği tahmin edilmektedir (Dhanda, 2018).

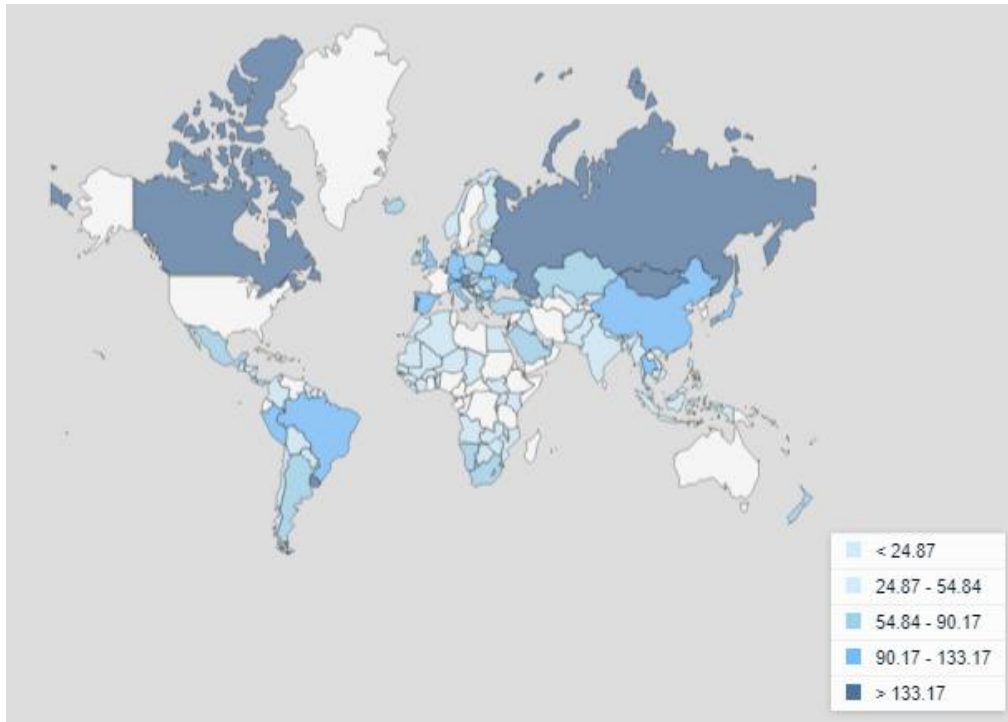
Bankacılık sektöründe şube dışı işlemlerin yapılmasına olanak sunan dijitalleşmede diğer önemli bir etken ATM’lerin varlığıdır. ATM’lerin tarihine bakıldığında ilk kullanan ülkeyi 1969 yılında ABD olarak görmekteyiz. Türkiye’ye ATM’ler 1987 yılında hizmet vermeye başlamıştır. Bu yapılar 7/24 çalışmaları nedeni ile ilk

çıktıkları dönemde devrim niteliğinde bir gelişme olarak tarih sayfalarında yerini almıştır (Şekil 30) (Arslan ve Yavuzaslan 2019)



Şekil 30. 2010-2017 yılları arası Türkiye’de hizmet veren ATM sayıları (Arslan ve Yavuzaslan 2019)

The World Bank’in sitesinden 2019 yılı için Dünya’da her 100 000 kişi başına düşen ATM sayıları incelendiğinde, Türkiye 83,95 değerine sahiptir (Şekil 31).



Şekil 31. Dünyada 100,000 kişi başına düşen ATM sayıları (Anonim, 2019c)

4.9. Telekomünikasyon ve Medya Sektörü

Bu sektör, yalnızca internet şirketleri ve bilgi teknolojileri için hizmet sağlayıcıları gibi dijital araçların tedarikçilerini değil, aynı zamanda ortamı çevrimiçi tüketicilere içerik sağlamak için kullananları da kapsamaktadır. Bu nedenle telekomünikasyon Endüstri 4.0'ın merkezinde yer almaktadır. Değer zincirinde ortaya çıkan teknolojilere yakınlığı nedeniyle, bu sektör genellikle yeni dijital araçları ilk benimseyen sektör olarak dikkat çekmektedir ve medya içerik ve bilgisine erişimi genişletmek için dosya paylaşımı, yayın, mobil cihazlar ve sosyal medya gibi yeniliklerden yararlanmıştır. Günümüzde şirketler ve tüketiciler hedeflenmiş medya önerileri sağlayan entegre, kişiselleştirilmiş kullanıcı deneyimleri yaratmaya çalışmakta ve bu aşamada gelişen yapay zeka algoritmalarından faydalanmaktadır.

Telekomünikasyon içerisinde genellikle yüksek hızlı ve daha fazla bağlantılar ile iletişimin sürekli geliştirilmesine dayanan çalışmalar alanı domine etmektedir. Bu teknolojilerin içerisinde 5G, yapay zeka, IoT ve bulut hizmetleri önemli bir yer teşkil etmekte ve bu hizmetler şirketlerin topladıkları büyük hacimdeki verinin kısa süre içerisinde küresel ölçekte yayılmasına imkan tanımaktadır (Marr, 2018; Beltran, 2019).

2017 yılında ülkemiz sanayinin dijital dönüşümünü hızlandırmak ve Endüstriyel Nesnelerin İnterneti ile gelen yenilik ve kolaylıkların sanayi ile tanıştırılması aşamasında Türk Telekom ve General Electric iş birliği gerçekleştirerek ilk aşamada 500 büyük sanayi şirketine dijital dönüşüm danışmanlık hizmeti sunulmuştur. Taraflardan Türk Telekom nesnelerin interneti tüketici kısmında önemli rol oynarken GE Digital Endüstriyel Nesnelerin İnterneti alanındaki çalışmaları ile dijital dönüşümün endüstri tarafındaki uzmanlığı ile ön plana çıkmaktadır. Bu proje ile şirketlerin üretim süreci aşamalarında performans ve verimlilik artışı hedeflenmiş dolayısı ile dijital dönüşüm süreçlerini tamamlamış şirketlerin artan verimlilik, yüksek otomasyon, düşen maliyet ile rekabetçi duruşları sağlanmıştır. Dijital dönüşüm süreci beraberinde performans yönetimi, ön görülebilir bakım çalışmaları, arıza bakım operasyonu yönetimi, üretimin

değerlendirilmesi ve planlanması gibi aşamalarda daha kontrollü bir yaklaşım barındırmakta ve gerçek zamanlı veri işlenmesi ve izlenmesine olanak tanımaktadır (Anonim, 2017e).

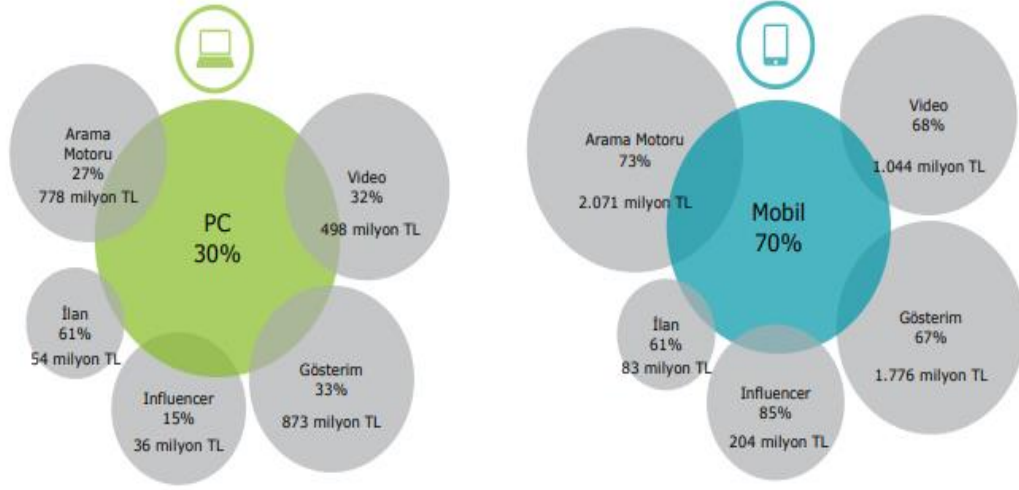
4.10. Reklamcılık

Reklamcılık sektöründe dijitalleşmenin tarihi incelendiğinde 1994 Ekim ayında howtired.com isimli web sitesinde yayınlanan ve ilk web banner olma niteliği taşıyan, linke tıklanması ile AT&T isimli web sitesine yönlendiren dijital reklam örnek olarak verilebilir. Hotwired.com site içi tıklamalarının %30'unu bu reklamın oluşturduğu tespit edilmiş ve barındırdığı potansiyel anlaşılmıştır. Dolayısı ile bahsedilen bu web banner internet tarihinde önemli bir dönüm noktası sayılmaktadır (Graham ve Ryan 2014).

Reklamcılık sektöründe kullanılan dijital reklam formatları arama motorları, bannerlar gibi sergilenen bileşenleri ortak bir çatı altında toplayan display'ler, elektronik postalar, mobil, sponsorluk ve ilan sayfaları gibi sıralanabilmektedir (Klapdor, 2013).

Reklamcılar Derneği tarafından Nisan 2021 yılında oluşturulmuş "Türkiye'de tahmini medya ve reklam yatırımları, 2020 Raporu"na göre medya yatırımları için 13 976 milyon TL, reklam yatırımları için 3 494 milyon TL olmak üzere toplamda 17 469 milyon TL bütçe ayrılmakta olup; 2020 yılı için reklam yatırımını en çok arttıran sektörler arasında perakende, sağlık ve medikal, ev temizlik ürünleri olduğu görülmektedir. Aynı zamanda reklam yatırımı en büyük sektörler ise sırasıyla gıda, perakende, kozmetik ve kişisel bakım olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı raporun 2019-2020 yıllarını kapsayan reklamlardaki % değişim oranlarına göre dijital verilen reklamlar %39 artmış, TV'de verilen reklamlar %23 ve toplamda %24'lük bir artış gözlenirken, radyo reklamlarında %10, açık havada %15 ve basında %28'lik bir düşüş dikkat çekmektedir. Genel bağlamda medya yatırımlarının %54'ünü dijital, %36'sını TV, %5'ini açık hava, %3'ünü basın, %2'sini radyo ve %0.2'sini sinema oluştururken bu pastadan en büyük dilimi alan dijital reklam bütçesinin %38'i araştırma için, %35'i gösterim için, %20'si video için %3'ü influencerlar için, %2'si ilanlar için ve geri kalan %1 diğer kategorisini

kapsamaktadır. Bu reklamların ise %70'i mobil ortamlardan ve %30'u PC'lerde verilmektedir (Şekil 32).



Şekil 32. Türkiye’de dijital medya yatırımlarının platform bazında dağılımı (İkiler ve diğerleri, 2020)

Türkiye medya yatırımları bakımından dünyada 31. Büyük Pazar olarak görülmektedir ve pazardaki payı %0,33’dür. Pandemi süreci ile birlikte ülke genelinde televizyon izleme süresi yükselmiş, dijital içerik üretimleri artmış, mobil platformlarda günlük aktif kullanıcı sayısında artışlar meydana gelmiştir. Bu nedenlerden dolayı reklamcılık faaliyetleri de dijitalden ilerlemeye başlamıştır. Bu süreçte markalar bilgi verme kanallarını değiştirme yoluna girmiş ve dijitalleşme süreçlerini hızlandırmıştır. Bu kapsamda online alışverişe imkan veren e-ticaret firmalarının ya da şahsi web sitelerine sahip olan firmaların reklam yatırımlarının hacmi büyümüştür. Reklam verme stratejileri büyük ölçüde sosyal medya üzerinden yapılan canlı yayımlar, sponsorluklar, marka entegrasyon uygulamaları ve influencer pazarlamalarına kaymıştır (İkiler ve diğerleri, 2020).

4.11. Diğer Sektörler

4.11.1. Enerji Sektörü

Enerji sektöründeki dijitalleşmeden bahsedilirken Endüstri 4.0’da olduğu gibi Enerji 4.0’da yaygın bir terim haline gelmiştir. Enerji 4.0’ın itici kuvvetleri olarak; fiziksel enerji dünyasındaki hızlı değişim, ticari dünyadaki hızlı değişim ve veri

akışının artması gibi faktörler öne sürülebilir. Enerji sektörü bünyesindeki üretim, iletim, dağıtım faaliyetleri, sistemin sensör tabanlı haberleşebilir otonom sistemlere evrilmesi, ticaret ve tüketim alanındaki gelişmeler, perakende satış vb bileşenler ile günden güne artmaktadır (Koçak, 2021). Elektrik enerjisi günümüzde hava, su, gıda gibi bir ihtiyaç haline bürünen bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda enerji ile ilişkili alanlardaki artan talebin karşılanabilmesi adına donanımlara olan ihtiyaç ile aynı ölçüde yazılım ve bulut teknolojilerine gereksinim duyulmaktadır. Enerjide dijitalleşme yakın gelecekte mobil uygulamalar vasıtası ile geniş imkanlar sağlayacak olup buna örnek verilmesi gerekirse sadece seçilen ev aletlerinin enerji tüketimine izin verilebilecek, çatıdaki güneş paneli, yaygınlaşan elektrikli araçlar özellikle güneş enerjisi sektöründe dijital dönüşümün önemini vurgular niteliktedir (Taştan, 2020).

Ülkemizde KoçSistem'in sistemetriks isimli geliştirdikleri otomatik sayaç okuma sistemi abonelerine enerji tüketimleri hakkında online, anlık tüketim verileri sunması ile abone lokasyonuna gidilmeye ihtiyaç duyulmadan sayaç bilgilerinin hızlı, doğru bir şekilde toplanması ve faturalandırılmasını sağlamakta, bozuk yada manipüle edilen sayaçların tespitine ve müdahalesine olanak tanımakta, enerji kaynaklarının verimli bir şekilde yönetimine imkan vermektedir (Taştan, 2020).

4.11.2. Teknoloji

Bilgisayar ve elektronik geliştiricilerinin dijital inovasyonun ön saflarında yer alması gayet normal görünmektedir. Teknoloji sektörü aynı zamanda dijitalleşmenin iş modellerini ve değer zincirlerini nasıl etkileyebileceği konusunda dijitalleşmeye yön vermektedir. Teknolojinin hızlı evrimi sonucunda, ürün tasarımcılarının, bireysel bileşen üreticilerinin (individual component manufacturers) ve montaj şirketlerinin ayrı alanlarda yer aldığı kademeli bir iş sektörünün doğuşuna da neden olmuştur. Tüm bu şirketler, tedarik ve lojistik gibi işlevlerinde, karmaşık değer zincirinin yönetilmesi aşamasında dijital süreçlerden faydalanmaktadırlar.

4.11.3. Yayıncılık

Teknoloji, yayıncılık sektöründe son derece yıkıcı bir güç olmuştur ve yazılı medyanın geleceğini en iyi ihtimalle belirsiz hale sokmuştur. Ancak çevrimiçi (online) medyanın yükselişi, dijital dönüşümü başarılı bir şekilde teşvik edebilen iş liderleri için bir fırsat olabilir.

Kullanıcılar, bloglar ve sosyal medya gibi kullanıcı tarafından oluşturulan ortamlara akın ederken ve yayınlara erişmek ve indirmek için yeni yollardan yararlandıkça, internet, yazılı içeriği her zamankinden daha erişilebilir hale getirmiştir. Pek çok okuyucu ve yayıncı için, e-okuyucuların çıkması ile birlikte basılı kitaplara göre daha erişilebilir ve finansal açıdan sürdürülebilir bir iş modeli sunmaktadır ve okuyucular da kitap okuma alışkanlığını teşvik ettiği için e-okuyucu kitapları övmektedirler.

Aynı zamanda gazete ve dergiler, yeni kitlelere ulaşmak ve daha entegre bir medya deneyimi sağlamak için sosyal medya gibi çevrimiçi platformlarla entegre olmaktadır.

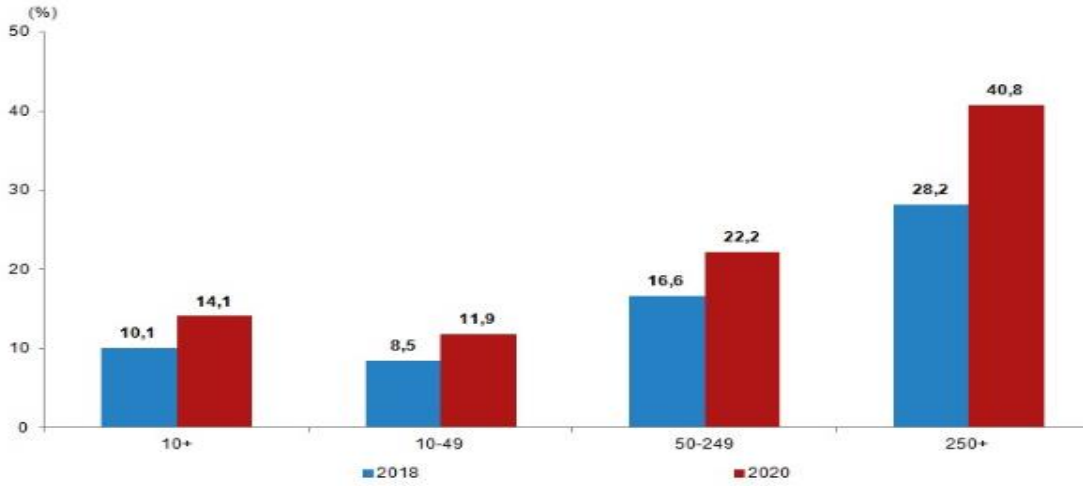
4.11.4. Profesyonel Hizmetler

Finans sektörü gibi, profesyonel hizmet sektörü de bilgi temeline dayanmaktadır. Bu nedenle, ürünlerin ve süreçlerin dijital olarak otomatikleştirme yeteneğinden büyük ölçüde faydalanan bir sektördür. Dijital yenilikler, profesyonel hizmet firmaları verimliliği arttırmanın dışında aynı zamanda müşteri beklentilerinin de destekçisi olmuştur. Tıpkı bilgisayarlarda ortaya çıkan elektronik tablolarının (spreadsheets) muhasebe sektörünü için personel ihtiyaçlarını köklü bir şekilde değiştirdiğine benzer olarak yeni teknolojilerde (bulut bilişim, veri madenciliği vb.) hukuk ve danışmanlık alanları gibi alanlarda hizmet sunumunu kolaylaştıracak ve sektörde değişikliklere neden olacaktır.

Dijitalleşme beraberinde firmaların dijital dönüşümü sürdürmelerine yardımcı olabilmek için uzmanlıklarını kullanan dijital düşünce liderlerini ve yeni bir profesyonel hizmet alt sektörünün ortaya çıkmasını beraberinde getirmiştir.

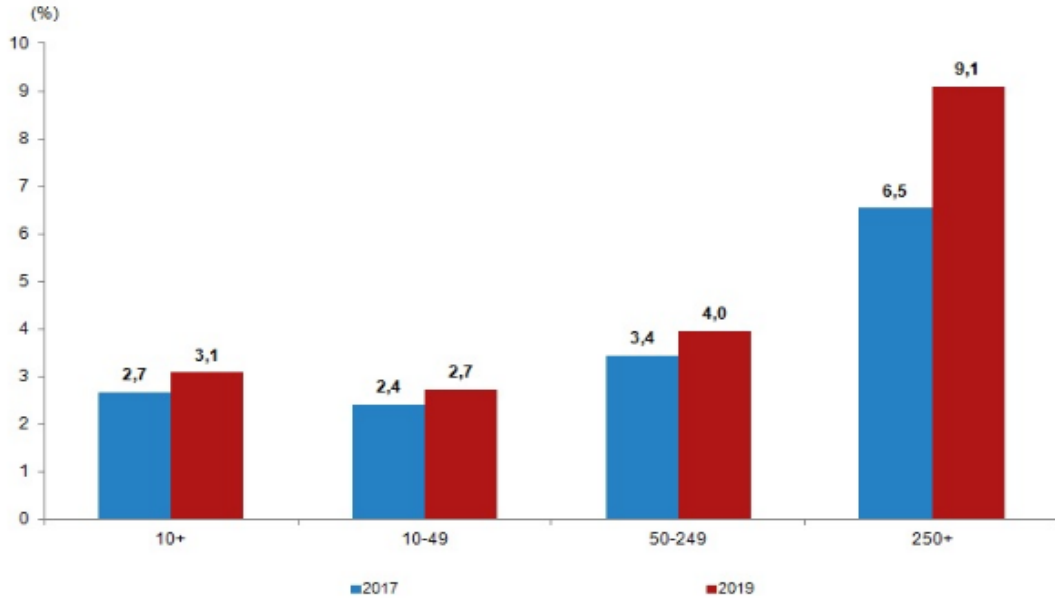
4.11.5. Girişimler

TÜİK tarafından 2020 yılında sunulan “Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması” isimli araştırma çıktılarınca farklı bilişim teknolojilerin girişimler tarafından kullanımlarında 2018 ve 2020 yılları karşılaştırılmış ve sonuçlar girişimlerde çalışan kişi sayılarına göre farklı grupta incelenmiştir. Bu teknolojilerden bulut bilişim teknolojilerinin 2020 yılında 2018 yılına göre 10 - 49 kişiyle çalışan girişimlerde %40, 50-249 kişiyle %34, 250 ve üstü çalışana sahip girişimcilerde ise %45 oranında bir artış görülmüş olup en yüksek oranda bulut bilişim kullanan grup 250 ve üstü çalışana sahip girişimlerdir ve bu alanın %40,8’ine karşılık gelmektedir (Şekil 33) (Anonim, 2022).



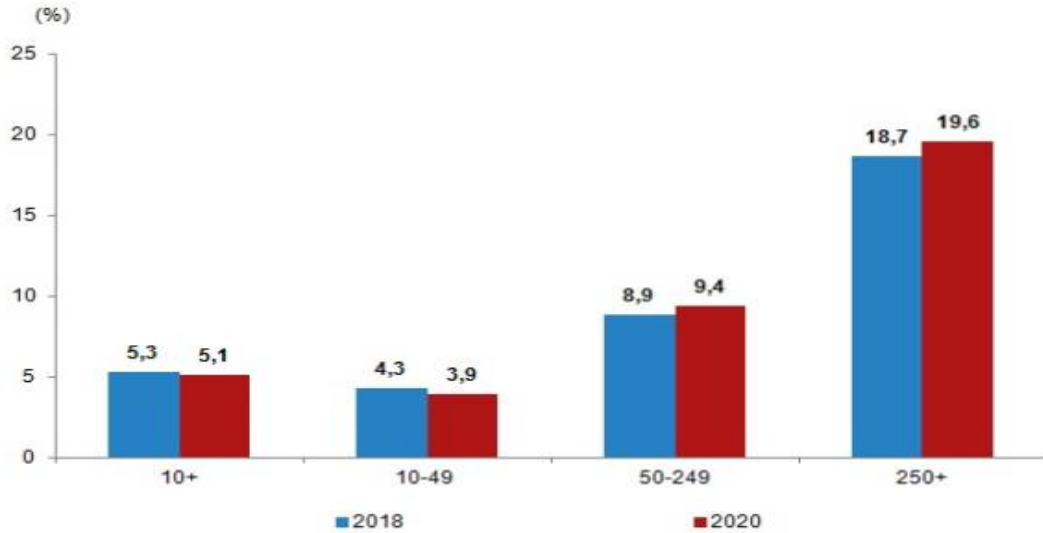
Şekil 33. TÜİK Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2018-2020 yılları arası girişimlerin bulut bilişim kullanımı istatistikleri dağılımı, 2020 (Anonim, 2022)

Girişimlerin 3-D yazıcı kullanım oranları ise yine aynı gruplar göz önüne alındığında çalışanları küçükten büyüğe olmak üzere 2017 verilerine göre 2019 yılında sırasıyla %13, %18, %40 oranlarında artmıştır (Şekil 34) (Anonim, 2022).



Şekil 34. TÜİK Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2017-2019 yılları arası girişimlerin 3-D yazıcı kullanımı istatistikleri dağılımı, 2020

Aynı raporda girişimlerin robot teknolojisi kullanım oranları ise 2018 verilerine göre 2020 yılında 10-49 arası çalışan barındıran girişimlerde %9 azalırken, 50-249 arası çalışan olan girişimlerde %6 ve 250’den fazla çalışan barındıran girişimlerde ise %5 artış meydana gelmiştir (Şekil 35) (Anonim, 2022).



Şekil 35. TÜİK Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2018-2020 yılları arası girişimlerin robot teknolojisi kullanımı istatistikleri dağılımı, 2020

4.11.6. Dünyada Yapay Zeka/Makine Öğrenmesi Kullanan Startup'lar

Yapay zeka ve makine öğrenmesine dayanan dünya girişimleri Çizelge 21' de verilmiştir.

Çizelge 21. Yapay zeka ve makine öğrenmesine dayanan dünya girişimleri (Anonim, 2021o)

Startup Adı	Kuruluş Tarihi	Ülke	Verilen Hizmet Türü
SenseTime	2014	Çin	Bilgisayar görüşü alanında kurulmuş bir şirket olup yüz tanıma, biyometri, görüntü/video işleme, otonom sürüş, robot sensörler gibi alanlarda son ürün ve hizmet sunmaktadır.
AI.Reverie	2017	ABD	"AI.Reverie" dünyayı anlamak için yapay zekayı eğiten bir simülasyon platformudur. Farklı sektörlerdeki işletmelerin makine öğrenimi algoritmalarını eğitmesine, yapay zeka doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini iyileştirmesine yardımcı olmak için bir dizi sentetik veri ve görüntü API'si sunarlar. "AI.Reverie", şantiyeler, akıllı şehirler ve akıllı evlerin yönetimi, tarım, endüstri dahil olmak üzere farklı alanlar için çözümlere sahiptir.
Anodot	2014	ABD	Anodot, kurumsal ölçekte tüm veri türlerinde eş zamanlı olarak otonom analitiğin sağlanmasında yapay zeka uygular. Kör noktaların ortadan kaldırılması, kaza durumlarında uyarılar gibi konularda sürekli çalışan bir self servis yapay zeka platformuyla analistlere işleri üzerinde daha fazla kontrol sağlamaktadır.
Arturo, Inc.	2017	ABD	Arturo, farklı sigorta pazarları için derin öğrenme algoritmaları ile son derece hassas ölçümler ve tahmine dayalı veriler sağlayan bir şirkettir.
Comet.ml	2017	ABD	Veri bilimcilerine veri kümelerini, kod değişikliklerini, deney geçmişini ve üretim modellerini otomatik olarak izleyebilecek ölçeklenebilir bir platform sağlamak. Amaçları, yapay zeka ve makine öğrenimi geliştirmeye daha fazla verimlilik, şeffaflık ve yeniden üretilebilirlik getirmektir.

Çizelge 21. Yapay zeka ve makine öğrenmesine dayanan dünya girişimleri (devam)
(Anonim, 2021o)

Eightfold.ai	2016	ABD	“Dünyadaki herkes için doğru bir kariyer vardır” sloganı ile yola çıkan Eightfold.ai, COVID-19'un getirmiş olduğu sağlık krizleri sonrası işsizlik eğrisini olumlu yönde etkiledi. İşe alım yapan şirketlerin insanları doğru işlerle eşleştiren bir platform aracılığıyla pazardaki acil ihtiyaçlar karşılanır.
Frame.ai	2016	ABD	Müşteri odaklı kararlar ve yönlendirme sağlanması için eş zamanlı olarak operasyonel hale gelen bir erken uyarı ve sürekli izleme sistemidir. Yardım masaları, çağrı merkezi ve diğer kanallardan alınan verileri birleştirip zenginleştirerek, müşteri ilişkilerini ve operasyonel maliyetleri içeren yeni temaları tanımlar ve bunları anında eyleme geçirilebilir hale getirir.
Instreamatic	2015	ABD	Mobil platformlarda etkileşimli, diyalog tabanlı reklamları güçlendirmek için tasarlanmış AI destekli bir Sesli Diyalog Pazarlama platformu olan Instreamatic, Voice AI algoritmalarını eğitmek için doğal dil anlama (NLU) kullanımı açısından önemlidir.
Jus Mundi	2018	Fransa	Jus Mundi, sezgisel, kullanıcı dostu bir arayüz sunan, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi gelişmiş teknolojileri barındıran, uluslararası hukuk araştırmalarının verimliliğini artırmak için kapsamlı içerikle birleştiren, halka açık bir uluslararası hukuk ve yatırımcı devlet tahkim arama motorudur.
Kaizo	2018	Hollanda	Kaizo, müşteri destek ekipleri için bir performans yönetimi platformu oluşturur. Operasyonel verimliliğin artırılması, ekiplerin performansını ve eyleme geçirilebilir OKR(hedefler ve kilit sonuçlar)'lerle elde tutma oranını yükseltmesi için oyunlaştırma ve AI kullanmaktadır.
Luminovo	2017	Almanya	Luminovo, şirketlerin özel uygulamalar geliştirmesine yardımcı olan bir derin öğrenme şirkettir.

Çizelge 21. Yapay zeka ve makine öğrenmesine dayanan dünya girişimleri (devam)
(Anonim, 2021o)

MixMode	2012	ABD	MixMode, Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA) ve ABD Savunma Bakanlığı (DoD) projeleri için geliştirilen patentli AI kullanan, yapay zeka odaklı bir siber güvenlik girişim şirketidir. Ağ Güvenliği İzleme Platformu ile derin ağ görünürlüğü ve tahmine dayalı tehdit algılama yetenekleri sağlayarak, bir kuruluşun güvenlik ekibinin gerçek zamanlı verimli ve geçmişe dönük tehdit algılama ve görselleştirme gerçekleştirmesine olanak tanır.
ModelOp	2016	ABD	ModelOp, büyük işletmelerin kurumsal yapay zeka ve Makine Öğrenimi yatırımlarından en yüksek değeri elde etmek için gerekli olan ölçekleme ve yönetim zorluklarını ele almasını sağlar. ModelOp Center platformu, nerede oluşturulduğuna veya devreye alındığına bakılmaksızın modeller için tüm yaşam döngüsünü otomatikleştirir.
OctoML	2019	ABD	Şirketin misyonu, geliştiricilerin yapay zeka ihtiyaçları için makine öğrenimi modellerini nasıl optimize ettiğini ve dağıttığını değiştirmek ve daha fazla geliştiricinin ML modellerini daha fazla donanıma daha kolay ve güvenli bir şekilde dağıtmasını sağlamaktır.
Olive	2012	ABD	Olive, sağlık kuruluşlarının verimliliği ve hasta bakımını iyileştirirken maliyetli idari hataları azaltmasına olanak tanıyan yapay zeka ve RPA çözümleri geliştirir. Sağladıkları yapay zeka çözümü ile tekrarlayan, yüksek hacimli görevleri ve kuruluşlar için gerçek birlikte çalışabilirliğe olanak tanıyan iş akışlarını otomatikleştirerek sistemler ve veriler arasında akıllı yönlendirici görevi görmektedir.
Paige	2018	ABD	Paige, kanser için teşhis, tedavi ve biyobelirteç keşfini ilerletmek için yazılım geliştirmekte ve bu süreçleri daha hızlı, daha bilinçli teşhis ile yönetme ve sağlık çalışanının uygulayacağı tedavi için karar vermesine yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Çizelge 21. Yapay zeka ve makine öğrenmesine dayanan dünya girişimleri (devam)
(Anonim, 2021o)

PostEra	2019	ABD	PostEra, ilaç keşfinin tasarım-yap-test et döngüsünü kapatmak ve müşterilerin döngü sürelerini azaltmak için makine öğrenimini kullanmaktadır. Şu anda, açık bilim girişimi (open science initiative) yoluyla bir COVID antiviral bulmaları için uluslararası düzeyde toplanmış bilim adamlarının ekibine liderlik etmektedirler.
Megvii	2011	Çin	Nesnelerin interneti alanına odaklanıp; imaj tanıma ve derin öğrenme konuları ile hizmetleri olan bir şirkettir. Bu şirket daha çok kamu için kimlik doğrulama yazılımları geliştirmekte ve bunun dışında nesnelerin interneti odağında akıllı şehirler, tedarik zinciri ve kişisel çözümler geliştirmektedir.
UiPath	2005	ABD	UiPath, robotik süreç otomasyonuna odaklanan bir yazılım şirkettir. Süreç otomasyonunun uygulanması ve buluta dağıtılması için bir platform sağlamaktadır.
OpenAI	2015	ABD	Elon Musk tarafından kar amacı gütmeyen bu şirket yapay zekanın yaygınlaştırılması, geliştirilmesi ve teşvik ettirilmesi amacı ile kurulmuştur. Kar amacı gütmeyen bir şirket olmasına rağmen yakın zamanda yeni doğal dil işleme modellerine erişim sağlayan ticari bir API geliştirmişlerdir.
Nuro	2016	ABD	Gıda, kargo, market alışverişi gibi hizmetler için otonom kuryeler geliştiren bir şirkettir.
Zoox	2014	ABD	Otonom araçlar konusunda uzmanlaşmış bir şirkettir. Robotaxi adında çıkarmış oldukları sürücüsüz taksi ile ilgili sosyal medyada birçok video bulunmaktadır.
Samsara	2015	ABD	Nesnelerin interneti odaklı; bulut, yapay zeka ve analitik ile ilgili hizmetler sunmaktadır.
Automation Anywhere	2003	ABD	Robotik Süreç Otomasyonu odaklı olan bu şirket; bulut bilişim ortamı, yapay zeka, makine öğrenmesi ve analitiği birleştirerek sisteme entegre ettikleri chatbotlar ile üretkenliği, müşteri deneyimini ve çalışan katılımını artırmaktadırlar.

Çizelge 21. Yapay zeka ve makine öğrenmesine dayanan dünya girişimleri (devam)
(Anonim, 2021o)

MiningLamp	2014	Çin	Büyük veri şirketi olup şirketlerin verilerini görselleştirmesi, makine insan interaksyonu ile ilgili şirketlerin ne gibi adımlar atabileceği konusunda ve yapay zeka uygulamaları konularında danışmanlık hizmeti vermektedir.
Unisound	2012	Çin	Konuşma tanıma, evde kullanılan akıllı ürünler, eğitim, otonom sürüş, sağlık, bulut bilişim gibi farklı sektörlerde çözümler sunan bir şirkettir.
TuSimple	2015	ABD	Depodan depoya olacak şekilde sürücüsüz kamyon üreticisi bir şirkettir.
Mobvoi	2012	Çin	Konuşma tanıma, doğal dil işleme ve donanım-yazılım entegrasyonuna odaklanan bu şirket ses etkileşimi ve ses hizmetleri ile ilgili giyilebilir ürünler (akıllı saat vs) sunan bir şirket
Freenome	2014	ABD	Kan testi ile kanser ve diğer hastalıklar için tarama teknolojileri geliştiren, erken teşhis ve daha etkili bir tedavi sunma amacı ile hareket eden Freenome şirketi; kişisel tıp paydasında buluşurken hesaplamalı biyoloji ve makine öğrenimi tekniklerini uygulayan bir biyoteknoloji şirkettir.
Darktrace	2013	Birleşmiş Krallık	Yapay zekaya dayanan bir siber güvenlik şirketi olup bulut ortamında ve sanallaştırılmış olan ağlarda, nesnelerin internetinde (IoT) ve endüstriyel kontrol sistemlerinde siber tehditlerin tespit edilip bunlara yanıt verilmesi aşamasında kendi kendine öğrenen algoritmaları kullanmaktadır.

Crunchbase veritabanında makine öğrenmesine dayanan 2019 yılı istatistiklerine bakıldığında 8705 girişim bulunurken bu 2020 yılı için %6 artış göstererek 9216 girişime ulaşmıştır. 2020 yılı için makine öğrenmesi ile ilgili bazı start-up ların cirosu Çizelge 22’ de verilmiştir (Columbus, 2020).

Çizelge 22. Makine öğrenmesine dayanan şirketler ve 2020 yılında topladıkları toplam finansman (Columbus, 2020).

Şirket İsmi	Raunt	Sağlanan Finansman
AI.Reverie	2	\$10M
Anodot	5	\$62,5M
Arturo, Inc	2	\$8M
Comet.ml	4	\$6,8M
Eightfold.ai	-	\$85M
Frame.ai	3	\$10,3M
Instreamatic	5	\$2,2M
Jus Mundi	1	€1M
Kaizo	1	\$3M
Luminovo	1	\$2,5M
MixMode	5	\$17,3M
ModelOp	3	\$6M
OctoML	2	\$18,9M
Olive	6	\$123,8M
Paige	3	\$75M
PostEra	2	\$2,5M
Socure	7	\$61,9M
ThinkDeep AI	1	€250K
Tonkean	5	\$31,2M
Vendi	1	£600K
Voci Technologies	9	\$18M
Zest.ai	6	\$217M

4.12. Fırsatlar ve Etkiler

Sanayinin dijitalleşmesi; ekonomik, çevresel ve sosyal fırsatları beraberinde getirecektir (Kagermann, 2015).

4.12.1. Ekonomik Fırsatlar

- ✓ Üretimde esneklik, yüksek verim, %50'ye kadar kaynağın daha etkili kullanımı,
- ✓ Maliyetin düşmesi; günümüz seri üretim maliyetlerinin kişiye özel ürünlerin üretimindeki maliyetlere imkan vermesi,
- ✓ Esnekliğin artması; doğruluğu yüksek verilerin daha doğru tahminlemeye izin vermesi sonucu ekonomik krizlerin ya da altyapısal sorunların neden olduğu kesintilere dayanma ve bunlardan kurtulma yeteneğinin artması,
- ✓ Eş zamanlı bilgi, büyük aksaklıkların olması durumunda anında yanıt vermeyi kolaylaştıracak,
- ✓ Bu esneklik ile birlikte, ekonomiye verilebilecek olası zararların azaltılması aşamasında daha etkili ve hızlı önlemlerin alınmasını sağlayacaktır.
- ✓ Büyük veri, sistemler içi ve arasındaki arayüzler, yalnızca imalat endüstrisiyle sınırlı olmayan yeni hizmetler ve yenilikçi iş modelleri için büyük bir potansiyeli beraberinde getirecektir,
- ✓ Akıllı ürünler üretim sürecini aktif olarak kontrol etmelerinin dışında yeni hizmetler ve yenilikçi iş modelleri için platformlar sağlayacaktır,
- ✓ Endüstri 4.0 ve değer ağlarının entegrasyonu ile yüksek miktarlarda verinin üretilecek olmasıyla, bu verilerin birleştirilmeleri ve analizlerini kapsayan süreçte bilgi, nesnelere, veriler ve hizmetlerin bireysel paketler halinde oluşturulmasında sorunsuz bir şekilde süreci yürütmeyi hedefleyen yeni hizmetlere ve iş uygulamalarına ihtiyaç doğacak ve ekosistemde bu yeni iş alanları oluşacaktır,
- ✓ Yaşlı işçilerin işlerine yardımcı olabilecek akıllı yardım sistemleri ile birlikte vasıflı işgücü gereksinimi azaltılacak ya da ortadan kaldırılacak ve bu işçilerin kariyerlerinin daha uzun soluklu olması teşvik edilebilecektir (Kagermann, 2015).

4.12.2. Çevresel Fırsatlar

- ✓ Akıllı ICT tabanlı ağ iletişimi, daha az kaynağın daha verimli kullanılmasını mümkün kılacak ve bu da farklı uygulama alanlarını olumlu bir şekilde etkileyecektir,
- ✓ Akıllı fabrikalar ile, makinelerin start-stop fonksiyonlarında olduğu gibi akıllı sistemlerin kullanılması sonucu enerji tüketimi önemli ölçüde azalacaktır,
- ✓ Verinin hazırlanması, işçilerin karar verme süreçlerinde destek sağlayacak; hata ve ret sayısının azaltılmasına olanak tanıyacaktır,
- ✓ Lojistik rotaları ve kapasite kullanımını daha verimli yapılandırılması mümkün olacaktır,
- ✓ Otomasyon ile kaynaklanacak davranış değişiklikleri, özel haneler için %10 ve işletmeler için %20 gibi seviyelerde enerji tasarrufu sağlayacaktır
- ✓ Ağa bağlı hareketlilik (networked mobility), farklı ulaşım modları arasında geçiş yapmayı kolaylaştırarak intermodaliteyi teşvik edecek, elektrikli araçların ulaşım sistemlerine giderek daha fazla entegre edecek ve böylece bireylerin CO₂ ayak izlerini azaltmaya yardımcı olacaktır,
- ✓ Ürünlerin kaynak tüketimine ilişkin çok çeşitli kanallardan gerçek ve sanal verileri yakalamak mümkün olacak dolayısı ile bu süreç şeffaf bir şekilde takip edilebilecektir. Bu şekilde ürün yaşam döngüleri için kaynak optimizasyonu ve döngüsel ekonomiye geçilmesi üzerine değerli etkileri olacaktır,
- ✓ ICT ile paylaşım ekonomisine yönelik eğilimin temeli de sağlanacaktır.
- ✓ ICT tabanlı 3D baskı, atıksız üretim (waste-free) sağlar ve nakliye ihtiyaçlarını önemli miktarda kısararak çevresel faydalar vaat etmektedir (Kagermann, 2015).

4.12.3. Sosyal Fırsatlar

- ✓ Nesnelerin interneti ve getirdiği hizmet ile veriler yaşam kalitemizi arttırmaya hizmet etmektedir,
- ✓ Üretici tarafından verilen hizmetin ya da ürünün kalitesi artacak dolayısı ile tüketici talepleri artacak üretici ve tüketici kazan kazan ilişkisine girecektir,
- ✓ ICT ile insanlar daha bir iş-yaşam dengesi kuracaktır,

- ✓ Bireysel olarak çalışan kişiler kendi çalışma zamanlarını yönetebilecekler, bu da insanların bir kez daha çalışma ortamının merkezinde olacağı anlamına gelmektedir,
- ✓ Yapılacak istihdam makineleri çalıştırmanın ötesine geçerek, çalışanların sahadaki rolü daha çok uzman, karar alıcı ve koordinatör vasıflarına kayacaktır, bu da iş ile ilgili sarf edecekleri eforun kalitesini arttırarak çalışmaların daha çeşitli ve ilginç hale gelmesini teşvik edecektir,
- ✓ Diğer uygulama alanlarında da fırsatlar meydana gelecek,
- ✓ Gelişen veri şeffaflığı ve hastalıklar vb olumsuz durumlara karşı daha iyi müdahaleler sayesinde sağlık hizmeti sunumunu iyileştirmek mümkün olacak,
- ✓ Potansiyel verimliliğin artması ile güvenli ve uygun fiyatlı enerji tedarikinin sağlanması mümkün hale gelecek,
- ✓ Trafik akışının dijitalleşme ile optimize edilmesi ile bireysel ulaşımın temel ihtiyaçlarını karşılamak mümkün hale gelecektir (Kagermann, 2015).

4.12.4. İhracata Etkiler

Sensör teknolojisi ve internetin sanal dünya ve fiziksel dünyayı beslemesi ile birlikte siber-fiziksel sistemler üretim zincirinde senkronizasyonu yüksek, geleneksel yöntemlere göre daha kontrollü, hassas, düşük maliyetli, uniform, müşteri beğenisi yüksek ürün eldesi için gerekli olan üretim sürecini yönetmeyi mümkün kılacaktır (Gür ve diğerleri, 2017; Özkan ve diğerleri, 2018).

Siber-fiziksel sistemler ile birlikte kolay kontrollü üretim süreci, üretim zincirindeki her nesnenin etkin iletişimi, dolayısı ile hata oranlarının düşüklüğü ve üretimdeki kalite artışı, Türkiye ihracat hacmi üzerine ve dış ticaret açığının kapatılmasına önemli katkılarda bulunacağı öngörülmektedir.

Boyutları küçülen, maliyeti düşen sensör ve işlemciler ile birlikte dijital dönüşüm, sanayi için daha erişilebilir ve uygulanabilir hale gelmiştir. Dijital teknolojilerin sistemler sistemi adı verilen koordinasyonlu kullanımı işletmelerin imalat süreçlerini iyileştirmesi, üretim hassasiyeti ve verimliliğin artışı, yüksek kalite, düşük iş gücü, düşük maliyet dolayısı ile dış pazarda rekabet artışı gibi olumlu sonuçları beraberinde getirecektir (Nuroğlu ve Nuroğlu, 2018).

4.12.5. Dijital Dönüşüm Endeksleri Ve Stratejiler

Tübisad'ın "Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Endeksi 2020" raporuna göre Türkiye için dijitalleşmede göze çarpan engelleri bilgi ve iletişim teknolojilerine yönelik vizyon ihtiyacı, girişimci ekosistemin gelişkin olmayışı, altyapı yatırımlarının yetersizliği, nitelikli iş gücü kaynağının kısıtlı olması, bireylerin dijital ekonomiye uyumu, iş dünyasında dijital dönüşümün kısıtlılığı, KOBİ'lerin dijital dönüşüm konusundaki eksiklikleri, bilgi ve iletişim teknolojilerine yönelik vizyon ihtiyacı gibi ana başlıklar altında irdelemişler ve girişimci ekosisteminin geliştirilmesi, altyapı yatırımlarının geliştirilmesi ve nitelikli işgücü kaynağının geliştirilmesi gibi konularda yapılması gerekli stratejilere önerilerde bulunmuşlardır (İzmen ve diğerleri, 2020).

Farklı ulusal ve uluslararası kurumların ülke ekonomilerinin dijital dönüşümü ile ilgili çeşitli endeksleri hazırlanmakla birlikte bunlardan en önemlileri Dünya Ekonomik Forumu tarafından 2016 yılında hazırlanan ve 139 ülkeyi kapsayan "The Global Information Technology Report" isimli raporda belirtilen Dijitalleşme Uyum Endeksi (The Networked Readiness Index) (Anonim, 2016b); Avrupa komisyonu tarafından hazırlanan Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI: Digital Economy and Society Index) (Anonim, 2019a); UNCTAD tarafından hazırlanmış Bilgi ve İletişim Teknolojileri Gelişme Endeksi'dir (ICT Development Index) (Biggs UNCTAD, 2003). Bu amaçla Türkiye'de yapılan çalışmalara, 2015 yılında 104 ve 2016 yılında 106 şirket ile yapılan görüşmeler sonucu oluşturulan ve farklı sektörlerin dijitalleşme seviyelerini ölçmeyi amaçlayan Accenture Dijitalleşme Endeksi (Toker ve Koksalan 2017); TÜBİSAD'ın "Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Endeksi 2000" raporunda sunulan 2019-2020 yıllarını kapsayan ve 139 ülkenin dikkate alındığı, dijital dönüşümü mevzuat, altyapı, beceri, ekonomik ve toplumsal etki parametrelerini dikkate alarak oluşturmuş olduğu Dijital Dönüşüm Endeksi örnek olarak verilebilir.

TÜBİSAD raporuna göre Türkiye'nin dijital dönüşüm endeksi ekosistem bileşeni, yeterlilik bileşeni, kullanım bileşeni ve dönüşüm bileşeni olmak üzere 4 ana başlık altında incelenmiştir (İzmen ve diğerleri, 2020).

Bunlardan ekosistem bileşeninin ilk boyutu olarak yasal zemin ve işleyiş süreçleri ile yenilik ve yatırım ortamı karşımıza çıkmaktadır. 2019'da 2,76 olarak hesaplanan yasal

zemin ve işleyiş süreci endeksi 2020 yılında 2,82'e artmış olup bu endeks hesaplanırken kullanılmış parametreler aşağıdaki gibidir;

- ✓ Kanunların uygulanmasında etkinlik
- ✓ Bilgi iletişim teknolojileri ile ilgili kanunlar
- ✓ Sözleşmeleri uygulama maliyeti
- ✓ Anlaşmazlıkların çözümünde yasal sistemin etkinliği
- ✓ Ticari satış ihtilaflarının mahkeme yolu ile çözüldüğü süre (gün)
- ✓ Kamu kurumları ile olan anlaşmazlıklarda yargı sisteminin adil işlemesi
- ✓ Fikri mülkiyet haklarının korunması
- ✓ Lisanssız yazılım oranı

Ekosistem bileşeninin ikinci boyutunu yenilik ve yatırım ortamı endeksi oluşturmaktadır. 2019'da 2,98 olarak hesaplanan yenilik ve yatırım ortamı endeksi 2020 yılında 3,09'e artmış olup bu endeksi hesaplanırken kullanılmış parametreler aşağıdaki gibidir;

- ✓ Yeni teknolojilere erişim
- ✓ Risk sermayesine erişim
- ✓ Toplam vergi oranı
- ✓ Şirket kurulması için gerekli gün sayısı
- ✓ Şirket kurulması için gerekli prosedür sayısı
- ✓ BİT alanında üniversite- sanayi iş birliği
- ✓ Ar-Ge harcamaları
- ✓ Yerel rekabet yoğunluğu
- ✓ İleri teknoloji ürünlerinin kamu tarafından tedariki

Bu iki boyut esas alınarak ekosistem bileşeni hesaplanmış olup bu endeks 2019 yılı için 2,87 iken 2020'de 2,95'e çıkmıştır.

Türkiyenin dijitalleşme endeksinin ikinci bileşeni yeterlilik bileşenidir. Yeterlilik bileşeni altında altyapı, satın alınabilirlik ve beceri ile ilgili parametreleri ayrı ayrı incelenmiştir. Bu kapsamda yeterlilik bileşeninin ilk boyutu olarak altyapı endeksine baktığımızda 2019'da 2,34 ve 2020 yılında 2,27'e artmış olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu endeksin hesaplanması aşamasında kullanılmış parametreler aşağıdaki gibidir;

- ✓ Kişi başına üretilen elektrik (kWh)
- ✓ Nüfusun yüzdesine göre mobil ağların kapsamı
- ✓ Uluslararası internet bant genişliği
- ✓ Firma düzeyinde BİT yatırımının yeterlilik düzeyi
- ✓ BİT altyapısının gelişkinliği
- ✓ 1 milyon nüfusa düşen güvenli internet sunucuları
- ✓ Telekomünikasyon hizmetlerine yıllık yatırımın gelir içindeki payı
- ✓ %GSYH

Yeterlilik bileşeninin ikinci boyutu olan satın alınabilirlik 2019 yılında 4,54 olarak hesaplanırken 2020 yılında bu endeks 4,54 değerini koruyarak sabit kalmıştır. Satın alınabilirlik endeksinin hesaplanmasında göz önünde bulundurulmuş parametreler aşağıdaki gibidir;

- ✓ Ön ödemeli mobil hücresel tarifeler
- ✓ Sabit genişbant internet tarifeleri
- ✓ BİT altyapısının pahalılığı

Yeterlilik bileşeninin son boyutunda ise beceriler endeksi hesaplanmıştır. Bu endeks 2019 yılında 3,04 değerinde iken 2020 yılında 2,89 değerlerine azalış sergilemiştir. Bu endeksin hesabında kullanılan parametreler ise;

- ✓ Eğitim sisteminin BİT becerisi kazandırma yetkinliği
- ✓ Matematik ve fen eğitiminin kalitesi
- ✓ Ortaöğretimde okullaşmanın yüzdesel oranı
- ✓ Yüzde okur-yazarlık oranı
- ✓ STEM alanındaki yükseköğretim mezunları
- ✓ Yükseköğretime yüzdesel olarak kayıt oranı

Türkiyenin dijitalleşme endeksi hesaplanmasında diğer bir bileşen kullanım bileşenidir. Bu bileşen bireysel kullanım, iş dünyası kullanımı ve kamu kullanımı olmak üzere 3 boyutta incelenmiştir. Bu parametreler dikkate alındığında 2019 yılı için kullanım bileşeni 2,88 olarak hesaplanmışken 2020 yılında bu değer 3,16'ya yükselmiştir. İlk boyut

olan bireysel kullanımda 2019'da hesaplanan 3,2 değeri 2020 yılında 3,22 olarak artarak güncellenmiştir. Bu boyutun hesaplanmasında;

- ✓ Her 100 kişi için cep telefonu aboneliği sayısı
- ✓ Bireysel internet kullanımını yüzdesi
- ✓ Hanelerde bilgisayar bulunurluğunun yüzdesel oranı
- ✓ Hanelerin internete olan erişiminin yüzdesel oranı
- ✓ Her 100 kişi için sabit genişbant internet üyeliğinin sayısı
- ✓ Her 100 kişi için mobil genişbant internet üyeliği sayısı
- ✓ Bireylerin sosyal ağ kullanımı
- ✓ Bireylerin eğitim, sağlık, finansal hizmetler gibi farklı alanlardaki BİT kullanımları

gibi parametreler dikkate alınmıştır. İkinci boyutta iş dünyası kullanımı değerlendirilmiş olup bu değer 2019 yılında 2,77 iken 2020 yılında 3,32'e yükselmiştir. Bu boyutun hesaplanmasında;

- ✓ Firmaların son teknolojileri özümleme yeteneği
- ✓ Yenilik kapasitesi
- ✓ Bir milyon kişi başına PTC patent başvuruları
- ✓ İşletmeler arası BİT kullanımı
- ✓ İşletme-müşteri etkileşimlerinde BİT kullanımı
- ✓ Personel eğitim yatırımları

gibi parametreler dikkate alınmıştır. Kullanım bileşeninin diğer bir boyutu olarak ise kamu kullanımı yer almaktadır. Kamu kullanımı endeksi 2019 yılında 2,66'dan 2020 yılında 2,92 değerine ulaşmıştır. Bu boyutun hesaplanmasında;

- ✓ Devletin dijital değişimi yönetim süreci
- ✓ Çevrimiçi kamu hizmetleri endeksi
- ✓ BİT kullanımında kamunun desteği

gibi parametreler dikkate alınmıştır. Türkiye dijitalleşme endeksinin hesaplanmasında kullanılan son bileşen ise dönüşüm bileşenidir. 2019 yılı için dönüşüm bileşeni 2,81 seviyelerinden 2020 yılında 2,88'e çıkmıştır. Dönüşüm bileşeninin hesaplanmasında dijitalleşen ekonomi ve dijitalleşen toplum boyutları dikkate alınmıştır. İlk boyut olan

dijitalleşen ekonomi 2019 yılı için 2,36 hesaplanırken 2020 yılında 2,18 seviyelerine gerilemiştir. Bu boyutun hesaplanmasında;

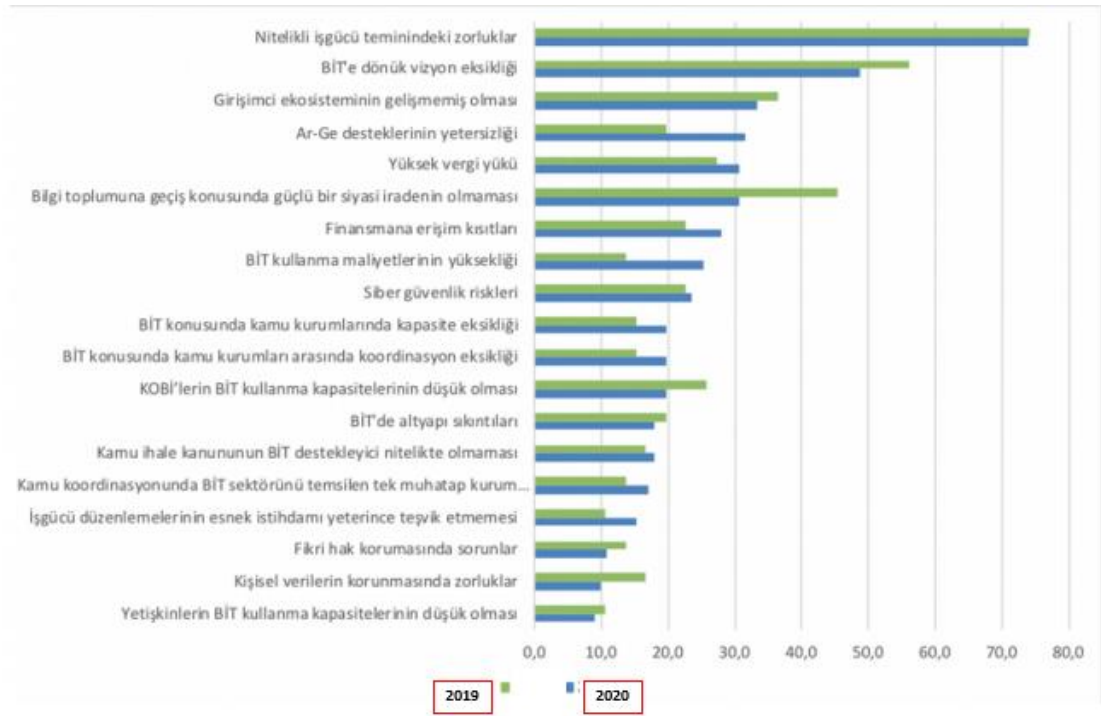
- ✓ BİT'in iş modelleri üzerindeki etkileri
- ✓ Bir milyon kişi için BİT alanında yapılan patent başvurusu sayıları
- ✓ BİT'in organizasyon modelleri üzerindeki etkileri
- ✓ Bilgi yoğun faaliyetlerde istihdam edilen işgücünün yüzdesel oranı
- ✓ Her bir milyon kişide tam zamanlı telekomünikasyon çalışanları sayısı
- ✓ Tasarım ürünleri ihracatının toplam ticarete yüzdesel oranı
- ✓ BİT hizmetlerinin ihracatının toplam hizmet ticareti içerisinde yüzdesel oranı
- ✓ Dijital olarak teslim edilebilir hizmet ihracatının toplam hizmet ticareti içerisinde yüzdesel oranı
- ✓ Mobil ağlardan elde edilen gelirlerin yüzdesel oranda telekomünikasyon hizmetlerine dönüşümü

gibi parametreler dikkate alınmıştır. Bu kapsamda dönüşüm bileşeninin diğer bir ayağını dijitalleşen toplum oluşturmakta olup 2019 yılında 3,26 olarak hesaplanan endeks 2020 yılında 3,58 değerine yükselmiştir. Bu boyutun hesaplanmasında göz önünde bulundurulmuş parametreler aşağıdaki gibidir;

- ✓ E-devlet hizmetlerinin kullanımı
- ✓ Eğitimde BİT kullanımı
- ✓ E-devlet hizmet kalitesi
- ✓ E-katılım endeksi

Kısaca özetlemek gerekirse TUBİSAD'ın "Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Endeksi 2020" raporunda Türkiye'nin dijital dönüşüm uyumu 2019-2020 yıllarını kapsayacak şekilde 30'u iş dünyası mensupları ve 34'ü çeşitli ulusal veri tabanlarından olmak üzere -139 ülkenin verileri kullanılarak- 4 ana bileşen ve 10 alt boyut altında toplamda 64 gösterge ile 5'lik not sisteminde değerlendirilmiştir. Bu kapsamda genel değerlendirmeye bakıldığında (değerlendirme skalası: 1-5) 2019 yılı için 2,94 olan endeks değeri 2020 yılında 3,06 seviyesine ulaşmayı başarmıştır (İzmen ve diğerleri, 2020).

Rapora göre Türkiye'nin dijitalleşme sürecine uyumda en kötü olduğu 10 alan içerisinde 1,02 puan ile BİT hizmetlerinin ihracat seviyesinin düşüklüğü, 1,03 puan ile uluslararası internet bant genişliği seviyesi yetersizliği, 1,04 puan ile BİT alanında yapılan patent başvuru sayılarının yetersiz olması, 1,07 puan ile güvenli internet sunucularının sayısının yetersizliği, 1,09 puan ile tam zamanlı telekomünikasyon çalışan sayısındaki yetersizlik, 1,12 puan ile PTC patent başvuru sayısındaki yetersizlik, 1,16 puan ile dijital olarak teslim edilebilir hizmet ihracat verilerinin düşüklüğü, 1,23 puan ile elektrik üretiminin yeterli seviyede olmaması, 1,65 puan ile yıllık yatırım içinde telekomünikasyon hizmetlerinin yeterli paya sahip olamaması ve 1,78 puan ile STEM alanı yani matematik ve fen eğitiminin kalitesinin yetersiz seviyede kalması olarak hesaplanmış ve raporda yorumlanmıştır. BİT sektörünün gelişimini engelleyen faktörler şirket yöneticilerine yöneltilen anketlerin sonuçlarını içerecek şekilde Şekil 36'de görselleştirilerek özetlenmiştir.



Şekil 36. Türkiye'de BİT sektörünün gelişimini kısıtlayan faktörler (İzmen ve diğerleri, 2020)

Buna karşın Türkiye'nin dijitalleşme sürecinde en yüksek puanı alan 10 alan ise 4,06 puan ile BİT altyapısının satın alınabilirliği, 4,3 puan ile hanelerde internet erişiminin büyük ölçüde sağlanmış olması, 4,33 puan ile sözleşmelerin uygulanma maliyetlerinin

uygunluğu, 4,39 puan ile e-katılım endeksinin yüksekliği, 4,45 puan ile bireylerin sosyal ağ kullanımındaki aktiflik, 4,55 puan ile sabit genişbant internet tarifeleri, 4,81 puan ile okuryazarlık oranındaki yükseklik, 4,89 puan ile şirket kurmak için gereken gün sayısının az oluşu, 4,97 puan ile mobil ağ kapsamının yüksek oluşu ve 5 puan ile n ödemeli mobil hücresel tarifeler olarak hesaplanmış ve raporda yorumlanmıştır (İzmen ve diğerleri, 2020).

5. SONUÇ

Tez kapsamında endüstri 4.0 ile ilgili tanımlamalar, bu kavramın önemi, dijitalleşme de her bir sektörde farklı bir önemi olan endüstri 4.0 teknolojileri, bunların tanımlamaları ve şirketlerde kullanımlarına yönelik örnekler üzerinde yorumlama yapılmıştır. İmalat, otomotiv, lojistik, gıda ve tarım, eğitim, perakende, finans ve bankacılık, telekomünikasyon ve medya, reklamcılık gibi farklı sektörler için dijitalleşme stratejileri ve öncelikleri tartışılmıştır. Şirketlerin dijitalleşmesi ile gündeme gelecek ekonomik, çevresel, sosyal fırsatlar ilgili raporlardan alıntılar eşliğinde aktarılmıştır. Elde edilen veriler genel olarak değerlendirildiğinde;

- ✓ Endüstri 4.0 ile dijitalleşen şirketler geleneksel kalmayı tercih eden şirketlere nazaran; kaynak verimliliğinde iyileşmeler, üretkenlik ve ürün çeşitliliğinde artış, optimizasyon ve akıllı üretim tekniklerinin uygulanması ile daha düşük maliyete daha kaliteli ürün eldesi ve bu sürecin efektif bir şekilde organize edilmesi aşamalarında daha avantajlı konuma gelebilecekleri,
- ✓ Şirketler, nesnelerin interneti ile bluetooth, Wi-Fi, NFC, hücresel ağlar gibi ortamların kullanımını vasıtasıyla dijital ve fiziksel sistemleri birbirine bağlayacak ve bu sisteme gelişen sensör teknolojisi de entegre edildiğinde ürünün üretim döngüsündeki tüm aşamalarda çok daha fazla kontrolü ellerinde barındıracakları,
- ✓ Yapay zekanın altkütmesi olan makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları; gün geçtikçe artan verilerden anlamlı sonuçlar ve yorumlar çıkarılması aşamasında yardımcı olarak çok daha anlamlı ve doğruluğu yüksek tahminler için şirketlerin kurtarıcısı olacağı,
- ✓ Simülasyon teknolojisi ile fiziksel ve sanal dünya senkronize bir şekilde yorumlanarak şirket tarafından oluşturulan modellerin; sanal ortamlarda farklı senaryolar altında testi gerçekleştirilebilecek, bu teknolojinin sağladığı 3 boyutlu ortamlar ile şirketler, tüketici deneyimlerini artırıcı stratejiler çizebilecekleri,
- ✓ Bulut teknolojisi ile artan verinin depolanma maliyeti azalacak ve internete erişim sağlanan her yerden veriye ulaşım imkanı sunulacaktır. Ayrıca şirketler için fiziksel depolama alanlarında olduğu gibi ön yatırıma ihtiyaç olmayıp işin

ölçeğine göre tarifeler vasıtasıyla hizmet sunulacak, veri depolanması ile ilgili iş riskleri ve bakım masrafları düşeceği,

- ✓ Eklemeli imalat gibi teknolojileri sistemlerine entegre eden şirketler geleneksel yöntemlerde sınırlı olan tasarım serbestliğini aşabilecek, üretim sürecinde daha az hammadde tüketimi ile sarf malzeme tasarrufu sağlayabilecekler, şekillendirme aparatlarına ihtiyaç duyulmadan katmanlar halinde kompleks materyalleri üretebilecekler, makineler ile zor işlenen nikel gibi alaşımları kullanarak tasarımlarını üretebilecekler ve bu ürünlerin üretim sürelerini kayda değer oranda kısaltacağı, sonucuna varılmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde ise, dijital dönüşüm uygulamaları; şirketler de iş gücünden tasarruf sağlayarak daha nesnel bir yapıya imkan verip, şirket kazancının uzun vadede artmasına, ihracat potansiyelinin ortaya çıkmasına veya ivme kazanmasına olanak tanıyan modern argümanlardır.

KAYNAKLAR

- Adamchuk, V. I., Hummel, J. W., Morgan, M. T. ve Upadhyaya, S. K. (2004). On-the-go soilsensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44 (1), 71-91. Doi: [10.1016/j.compag.2004.03.002](https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002).
- Ahmad, R. ve Salama, K. N. (2018). Physical sensors for biomedical applications. 2018 IEEE SENSORS, Ekim 2018, New Delhi, Hindistan. Doi: 10.1109/ICSENS.2018.8589646.
- Akhil, J., Samreen, S. ve Aluvalu, R. (2018). The future of health care: machine learning. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7, 23-25. Doi: [10.14419/ijet.v7i4.6.20226](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.6.20226).
- Akın, T., Yıldırım, C. (2017). *Türkiye’de çiftçilerin bilişim teknolojilerini kullanımı ve getirdikleri*.
- Al-Fares, M., Loukissas, A. ve Vahdat, A. (2008). A scalable, commodity data center network architecture. Proceedings of the ACM SIGCOMM 2008 conference on Data communication, Ağustos 2008, Seattle, WA, ABD.
- Alam, F., Elsherif, M., AlQattan, B., Ali, M., Ahmed, I. M. G., Salih, A., Antonysamy, D. S., Yetisen, A. K., Park, S. ve Butt, H. (2021). Prospects for additive manufacturing in contact lens devices. *Advanced Engineering Materials*, 23 (1), 2000941. Doi: 10.1002/adem.202000941.
- Ali, H., Lali, M. I., Nawaz, M. Z., Sharif, M. ve Saleem, B. A. (2017). Symptom based automated detection of citrus diseases using color histogram and textural descriptors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 92-104. Doi: 10.1016/j.compag.2017.04.008.
- Alsolai, H. ve Roper, M. (2020). A systematic literature review of machine learning techniques for software maintainability prediction. *Information and Software Technology*, 119, 106214. Doi: 10.1016/j.infsof.2019.106214.
- Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C. ve Oluwatola, T. A. (2016). *Autonomous vehicle technology: a guide for policymakers*. RAND Corporation, Santa Monica, CA.
- Anonim, (2014). Vehicle-to-vehicle communication (V2V communication). [https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/vehicle-to-vehicle-communication-V2V-communication#:~:text=Vehicle%2Dto%2Dvehicle%20communication%20\(V2V%20communication\)%20is%20the,of%20data%20between%20motor%20vehicles-](https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/vehicle-to-vehicle-communication-V2V-communication#:~:text=Vehicle%2Dto%2Dvehicle%20communication%20(V2V%20communication)%20is%20the,of%20data%20between%20motor%20vehicles-) (Erişim Tarihi: 11/11/2021).
- Anonim, (2015a). *Climate change and food security: risks and responses*. FAO. Rome, Italy.
- Anonim, (2015b). *Digital single market*. European Commission, <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/digital-single-market/> (Erişim Tarihi: 01/01/2022).
- Anonim, (2015c). *Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Acatech.
- Anonim, (2015d). *Industrial internet vocabulary*. Industrial Internet Consortium.
- Anonim, (2015e). *Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector*. McKinsey & Company, <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/industry%2040%20how%20to%20navigate%20digitization%2>

- [Oof%20the%20manufacturing%20sector/industry-40-how-to-navigate-digitization-of-the-manufacturing-sector.pdf-](#) (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2015f). The internet of things: mapping the value beyond the hype. McKinsey Global Institute, <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/The-Internet-of-things-Mapping-the-value-beyond-the-hype.pdf>- (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Anonim, (2016a). *Endüstri 4.0 yolunda*. Siemens, <https://siemens.com.tr/dijitalfabrikalar>- (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Anonim, (2016b). *The global information and technology report 2016: Innovating in The Digital Economy Geneva: World Economic Forum*. World Economic Forum. Switzerland.
- Anonim, (2016c). *Yeni sanayi devrimi akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası*. TÜBİTAK, https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/akilli_uretim_sistemleri_tyh_v27aralik2016.pdf- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2017a). *Birinci dönem çalışma raporu*. Sanayide Dijital Dönüşüm Platformu.
- Anonim, (2017b). *Digital Farming: what does it really mean?* CEMA, https://www.cema-agri.org/index.php?option=com_content&view=article&id=254&catid=17&Itemid=213- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2017c). *Ekonomi ve dış ticaret raporu*. Türkiye İhracatçılar Meclisi İstanbul.
- Anonim, (2017d). *Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation*. McKinsey & Company, <https://www.mckinsey.com/~media/BAB489A30B724BECB5DEDC41E9BB9FAC.ashx>- (Erişim Tarihi: 02/01/2022).
- Anonim, (2017e). *Türk Telekom ve GE Dijital, Endüstri 4.0 devrimi için güçlerini birleştirdi*. Türk Telekom, <https://medya.turktelekom.com.tr/turk-telekom-ve-ge-dijital-endustri-4-0-devrimi-icin-guclerini-birlestirdi/>- (Erişim Tarihi: 02/01/2022).
- Anonim, (2017f). *Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği*. TÜSİAD & BCG, İstanbul.
- Anonim, (2017g). *Vehicle to infrastructure (V2I or v2i)*. [https://whatis.techtarget.com/definition/vehicle-to-infrastructure-V2I-or-V2X#:~:text=Vehicle%2Dt%2Dinfrastructure%20\(V2I,streetlights%2C%20signage%20and%20parking%20meters-](https://whatis.techtarget.com/definition/vehicle-to-infrastructure-V2I-or-V2X#:~:text=Vehicle%2Dt%2Dinfrastructure%20(V2I,streetlights%2C%20signage%20and%20parking%20meters-) (Erişim Tarihi: 11/11/2021).
- Anonim, (2017h). *Yol haritası raporu – Sürüm.02*. Sanayide Dijital Dönüşüm Platformu, (Erişim Tarihi: 13/11/2021).
- Anonim, (2018a). *Advantages and disadvantages of Zigbee Networks*. <https://www.ecstuff4u.com/2018/03/advantages-and-disadvantages-of-zigbee.html>- (Erişim Tarihi: 08/11/2021).
- Anonim, (2018b). *Dış ticaret istatistikleri*
- Anonim, (2018c?). *Türkiye İstatistik Kurumu*, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dis-Ticaret-Istatistikleri-Haziran-2018-27789-> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).

- Anonim, (2018cd). *IKEA mobile apps*. IKEA, <https://www.ikea.com/gb/en/customer-service/mobile-apps/>- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2018de). *Sensors to take your game to the next level*. Zepp, <https://www.zepp.com/en-us/>- (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Anonim, (2018e). *Türkiye'nin sanayi devrimi "Dijital Türkiye" yol haritası*. T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, <https://www.sanayi.gov.tr/tsddtyh.pdf>- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2018?) *Sanayide yüksek teknolojiye geçiş programı*. (Erişim Tarihi: 10/01/2022).
- Anonim, (2019a). *Digital Economy and Society Index (DESI) 2019*. European Commission.
- Anonim, (2019b). *Global automotive executive survey 2019*. KPMG Automotive Institute, <https://fwsymnetics.com.br/wp-content/uploads/2019/10/global-automotive-executive-survey-2019.pdf>- (Erişim Tarihi: 11/01/2022).
- Anonim, (2019c). *International monetary fund, financial access survey: automated teller machines (ATMS) (per 100,000 adults)*. The World Bank, https://data.worldbank.org/indicator/FB.ATM.TOTL.P5?end=2019&most_recent_year_desc=false&start=2019&type=shaded&view=map&year=2019- (Erişim Tarihi: 29/12/2021).
- Anonim, (2019d). *Introduction to Additive Manufacturing Technology - A guide for designers and engineers*. European Powder Metallurgy Association.
- Anonim, (2019e). *IoT vs M2M - What is the difference?* . <https://www.avsystem.com/blog/iot-and-m2m-what-is-the-difference/#:~:text=Luckily%2C%20the%20definition%20of%20M2M,the%20Internet%20without%20human%20participation-> (Erişim Tarihi: 11/11/2021).
- Anonim, (2019f). *Küçük ve orta büyüklükteki girişim istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kucuk-ve-Orta-Buyuklukteki-Girisim-Istatistikleri-2019-37548-> (Erişim Tarihi: 01/09/2021).
- Anonim, (2019g). *Küçük ve orta büyüklükteki girişim istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu.
- Anonim, (2019h). *The national artificial intelligence research and development strategic plan: 2019 update*. National Science & Technology Council.
- Anonim, (2019i). *Sektör bilançoları*. Türkiye İstatistik Kurumu, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sektor-Bilancolari-2019-33602-> (Erişim Tarihi: 01/09/2021).
- Anonim, (2019j). *Internet top 10 countries in Europe, June 30 2019*. Internet Web Stats, <https://www.internetworldstats.com/stats4.htm> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2020a). *Dijital, internet ve mobil bankacılık istatistikleri*. Türkiye Bankalar Birliği.
- Anonim, (2020b). *Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) kullanım araştırması, 2020*. Türkiye İstatistik Kurumu, [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Survey-on-Information-and-Communication-Technology-\(ICT\)-Usage-in-Households-and-by-Individuals-2020-33679-](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Survey-on-Information-and-Communication-Technology-(ICT)-Usage-in-Households-and-by-Individuals-2020-33679-) (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2020c). *HDFS architecture guide*. hadoop, https://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/hdfs_design.html- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2021a). <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources-> (Erişim Tarihi: 27/12/2021).

- Anonim, (2021b). *Ar-Ge, Tasarım Merkezleri ve Teknoloji Geliştirme Bölgeleri (TGB)*. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, <https://www.sanayi.gov.tr/arge-tasarim-merkezleri-ve-tgb-> (Erişim Tarihi: 29/12/2021).
- Anonim, (2021c). *Citrix Hypervisor*. Citrix <https://www.citrix.com/products/citrix-hypervisor/> - (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2021d). *Dış Ticaret İstatistikleri, Mart 2021*. Türkiye İstatistik Kurumu, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dis-Ticaret-Istatistikleri-Mart-2021-37415-> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2021e). *Eklmeli imalat teknolojilerine giriş*. European Powder Metallurgy Association, <http://eklemeliimalat.info.tr/1-giris/> - (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2021f). *Internet World Statusage and Population Statistics, Internet Usage Statistics The İnternet Big Picture, World İnternet Users and 2021 Population Stats*. Internet World Stats, <https://www.internetworldstats.com-> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2021g). *Kernal Based Virtual Machine*. https://www.linux-kvm.org/page/Main_Page- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2021h). *List of wearables*. <https://vandrico.com/wearables/list.html> - (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Anonim, (2021i). *Manufacturer of directed energy deposition solutions*. BeAM, <https://www.beam-machines.com/> - (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2021j). *Mapreduce tutorial*. hadoop, <https://hadoop.apache.org/docs/stable/hadoop-mapreduce-client/hadoop-mapreduce-client-core/MapReduceTutorial.html-> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2021k). *Simulation software*. Capterra, <https://www.capterra.com/simulation-software/> - (Erişim Tarihi: 31/12/2021).
- Anonim, (2021l). *Society 5.0.* Japonya Hükümeti Kabine Ofisi, https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Anonim, (2021m). *VMware ESXi*. VMware, Inc., <https://www.vmware.com/products/esxi-and-esx.html-> (Erişim Tarihi: 18/01/2022).
- Anonim, (2021n). *What is machine learning?* ORACLE, <https://www.oracle.com/data-science/machine-learning/what-is-machine-learning/> - (Erişim Tarihi: 30/12/2021).
- Anonim, (2021o). *World Top 30 best-funded AI startups 2020*. Disfold, <https://disfold.com/top-ai-startups/#uipath-> (Erişim Tarihi: 30/12/2021).
- Anonim, 2022. *Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2021*. (Erişim Tarihi: 30/06/2022).
- Anzaldo, D. (2015). *Wearable sports technology - Market landscape and compute SoC trends*. *International SoC Design Conference (ISOCC)*, 217-218. Doi: 10.1109/ISOCC.2015.7401796.
- Arcidiacono, F., Ancarani, A., Mauro, C. D. ve Schupp, F. (2019). *Where the rubber meets the road. Industry 4.0 among SMEs in the automotive sector*. *IEEE Engineering Management Review*, 47 (4), 86-93. Doi: 10.1109/EMR.2019.2932965.
- Aria, E., Olstam, J. ve Schwietering, C. (2016). *Investigation of automated vehicle effects on driver's behavior and traffic performance*. *Transportation Research Procedia*, 15, 761-770. Doi: 10.1016/j.trpro.2016.06.063.

- Arogamam, G., Manivannan, N. ve Harrison, D. (2019). Review on wearable technology sensors used in consumer sport applications. *Sensors*, 19 (9). Doi: 10.3390/s19091983.
- Arslan, G. ve Yavuzaslan, K. (2019). The place and importance of innovation in banking sector: the case of Turkey. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7 (2), 946-968. Doi: 10.15295/bmij.v7i2.1131.
- Ashton, K. (2009). That “Internet of Things” thing. *RFiD Journal*, 22, 97-114.
- ASTM. (2012). *Standard terminology for additive manufacturing technologies*. In (pp. 3).
- Atzori, L., Iera, A. ve Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54 (15), 2787-2805. Doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- Bao, Y. D., Chen, N., He, Y., Liu, F., Zhang, C. ve Kong, W. W. (2015). Rapid identification of coffee bean variety by near infrared hyperspectral imaging technology. *Guangxue Jingmi Gongcheng/Optics and Precision Engineering*, 23, 349-355. Doi: 10.3788/OPE.20152302.0349.
- Barone, A. (2021). Technical Job Skills. <https://www.investopedia.com/terms/t/technical-job-skills.asp> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Barreto, A., Cruz-Tirado, J. P., Siche, R. ve Quevedo, R. (2018). Determination of starch content in adulterated fresh cheese using hyperspectral imaging. *Food Bioscience*, 21, 14-19. Doi: 10.1016/j.fbio.2017.10.009.
- Barreto, L., Amaral, A. ve Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: An overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252. Doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.045.
- Baruch, J. (2016). Steer driverless cars towards full automation. *Nature*, 536 (7615), 127-127. Doi: 10.1038/536127a.
- Basri, K. N., Hussain, M. N., Bakar, J., Sharif, Z., Khir, M. F. A. ve Zoolfakar, A. S. (2017). Classification and quantification of palm oil adulteration via portable NIR spectroscopy. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 173, 335-342. Doi: 10.1016/j.saa.2016.09.028.
- Becker, F. ve Axhausen, K. (2017). Literature review on surveys investigating the acceptance of automated vehicles. *Transportation*, 44 (1). Doi: 10.1007/s11116-017-9808-9.
- Behroozi-Khazaei, N. ve Maleki, M. R. (2017). A robust algorithm based on color features for grape cluster segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 41-49. Doi: 10.1016/j.compag.2017.08.025
- Beltran, B. B. M. (2019). Industry 4.0 and the future of telecommunications. <https://www.bworldonline.com/industry-4-0-and-the-future-of-telecommunications/>- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Berger, R. (2016). *The Industrie 4.0 transition quantified: how the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model*. Roland berger GMBH, <https://www.rolandberger.com/en/Publications/The-Industrie-4.0-transition-quantified.html>- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55 (2), 155-162. Doi: 10.1016/j.bushor.2011.11.003.
- Berryman, D. R. (2012). Augmented reality: A review. *Medical Reference Services Quarterly*, 31 (2), 212-218. Doi: 10.1080/02763869.2012.670604.

- Bertone, E., Venturello, A., Giraudo, A., Pellegrino, G. ve Geobaldo, F. (2016). Simultaneous determination by NIR spectroscopy of the roasting degree and Arabica/Robusta ratio in roasted and ground coffee. *Food Control*, 59, 683-689. Doi: 10.1016/j.foodcont.2015.06.055.
- Bi, Z., Xu, L. D. ve Wang, C. (2014). Internet of things for enterprise systems of modern manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10 (2), 1537-1546. Doi:10.1109/TII.2014.2300338.
- Biggs, P. ve UNCTAD. (2003). Information and communication technology development indices.
- Bird, D. T. ve Ravindra, N. M. (2021). Additive manufacturing of sensors for military monitoring applications. *Polymers*, 13 (9), 1455. Doi: 10.3390/polym13091455.
- Blanchard, A. ve Markus, M. (2004). The experienced “sense” of a virtual community: characteristics and processes. *Data Base*, 35, 64-79. Doi: 10.1145/968464.968470.
- Bona, E., Marquetti, I., Link, J. V., Makimori, G. Y. F., da Costa Arca, V., Guimarães Lemes, A. L., Ferreira, J. M. G., dos Santos Scholz, M. B., Valderrama, P. ve Poppi, R. J. (2017). Support vector machines in tandem with infrared spectroscopy for geographical classification of green arabica coffee. *LWT - Food Science and Technology*, 76, 330-336. Doi: 10.1016/j.lwt.2016.04.048.
- Bosilj, P., Duckett, T. ve Cielniak, G. (2018). Connected attribute morphology for unified vegetation segmentation and classification in precision agriculture. *Computers in Industry*, 98, 226-240. Doi: 10.1016/j.compind.2018.02.003.
- Botden, S. M. ve Jakimowicz, J. J. (2009). What is going on in augmented reality simulation in laparoscopic surgery? *Surg Endosc*, 23 (8), 1693-1700. Doi: 10.1007/s00464-008-0144-1.
- Botella, C., Bretón-López, J., Quero, S., Baños, R. ve García-Palacios, A. (2010). Treating cockroach phobia with augmented reality. *Behavior Therapy*, 41 (3), 401-413. Doi: 10.1007/s00464-008-0144-1.
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J. ve Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 101, 1-12. Doi: 10.1016/j.compind.2018.04.015.
- Brown, A., Gonder, J. ve Repac, B. (2014). *An analysis of possible energy impacts of automated vehicles*, Editörler: G. Meyer & S. Beiker. Springer International Publishing, Cham, 137-153.
- Buer, S.V., Strandhagen, J. O. ve Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56 (8), 2924-2940. Doi: 10.1080/00207543.2018.1442945.
- Bulutay, T. (2005). Türkiye’de yüksek öğrenimlilerde işlendirme ve işsizlik. Türkiye Ekonomi Kurumu.
- Çağlar, B. (2014). Lojistik işletmelerinde bilişim teknolojilerinin kullanımı, müşteri memnuniyeti ve işletme performansı ilişkisi: Bir araştırma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (32), 41-55.
- Caine, K. E., Rogers, W. A. ve Fisk, A. D. (2005). Privacy perceptions of an aware home with visual sensing devices. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 49 (21), 1856-1858. Doi: 10.1177/154193120504902108.

- Calvini, R., Amigo, J. ve Ulrici, A. (2015). Transferring results from NIR-hyperspectral to NIR-multispectral imaging: A filter-based simulation applied to the classification of Arabica and Robusta green coffee beans. Conference: 17th International Conference on Near Infrared Spectroscopy, Ekim 2015, Doi: 10.17648/nir-2015-34178.
- Calvini, R., Ulrici, A. ve Amigo, J. (2015). Practical comparison of sparse methods for classification of Arabica and Robusta coffee species using near infrared hyperspectral imaging. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 146, 503-511. Doi: 10.1016/j.chemolab.2015.07.010.
- Çancı, M. ve Erdal, M. (2003). *Lojistik yönetimi*, Freight Forwarder El Kitabı 1. UTİKAD, İstanbul.
- Cann, O. (2016). *\$100 Trillion by 2025: the Digital Dividend for Society and Business*. World Economic Forum, <https://www.weforum.org/press/2016/01/100-trillion-by-2025-the-digital-dividend-for-society-and-business/> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E. ve Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51 (1), 341-377. Doi: 10.1007/s11042-010-0660-6.
- Cen, H. ve He, Y. (2007). Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 18 (2), 72-83. Doi:10.1016/j.tifs.2006.09.003.
- Chadha, S. S., Singh, M. ve Pardeshi, S. K. (2013). Bluetooth technology: principle, applications and current status. *International Journal Of Science*, 4 (2), 16-30. Corpus ID: 111111533
- Chaibun, T., Puenpa, J., Ngamdee, T., Boonapatcharoen, N., Athamanolap, P., O'Mullane, A. P., Vongpunsawad, S., Poovorawan, Y., Lee, S. Y. ve Lertanantawong, B. (2021). Rapid electrochemical detection of coronavirus SARS-CoV-2. *Nature Communications*, 12 (1), 802. Doi: 10.1038/s41467-021-21121-7.
- Chan, M., Campo, E., Estève, D. ve Fourniols, J.Y. (2009). Smart homes — Current features and future perspectives. *Maturitas*, 64 (2), 90-97. Doi: 10.1016/j.maturitas.2009.07.014.
- Chao, K., Mehl, P. M. ve Chen, Y. R. (2002). Use of hyper- and multi-spectral imaging for detection of chicken skin tumors. *Applied Engineering in Agriculture*, 18 (1), 113-119. Doi: 10.13031/2013.7700.
- Chao, K., Qin, J., Kim, M. S. ve Mo, C. (2011). *A Raman chemical imaging system for detection of contaminants in food*. Proceedings Volume 8027, Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety III; 802710, Haziran 2011, Orlando, Florida, ABD. Doi: 10.1117/12.884498.
- Chao, K., Yang, C. C., Chen, Y., Kim, M. ve Chan, D. (2007). Hyperspectral-Multispectral Line-Scan Imaging System for Automated Poultry Carcass Inspection Applications for Food Safety. *Poultry science*, 86, 2450-2460. Doi: 10.3382/ps.2006-00467.
- Chao, K., Yang, C. C., Kim, M. S. ve Chan, D. (2008). High throughput spectral imaging system for wholesomeness inspection of chicken. *Applied Engineering in Agriculture*, 24 (4). Doi: 10.13031/2013.25135.

- Chen, H., Lin, Z. ve Tan, C. (2018). Fast quantitative detection of sesame oil adulteration by near-infrared spectroscopy and chemometric models. *Vibrational Spectroscopy*, 99, 178-183. Doi: 10.1016/j.vibspec.2018.10.003.
- Chen, J., Kam, A. H., Zhang, J., Liu, N. ve Shue, L. (2005). *Bathroom activity monitoring based on sound*. Pervasive Computing, 2005, Berlin, Heidelberg. Doi: 10.1007/11428572_4.
- Chen, S. W., Shivakumar, S. S., Dcunha, S., Das, J., Okon, E., Qu, C., Taylor, C. J. ve Kumar, V. (2017). Counting apples and oranges with deep learning: a data-driven approach. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2 (2), 781-788. Doi: 10.1109/LRA.2017.2651944.
- Cheng, H., Damerow, L., Sun, Y. ve Blanke, M. (2017). Early yield prediction using image analysis of apple fruit and tree canopy features with neural networks. *Journal of Imaging*, 3 (1). Doi: 10.3390/jimaging3010006.
- Chimento, J., Highsmith, M. ve Crane, N. (2011). 3D printed tooling for thermoforming of medical devices. *Rapid Prototyping Journal*, 17, 387-392. Doi: 10.1108/13552541111156513.
- Chmiel, M., Słowiński, M. ve Dasiewicz, K. (2011). Application of computer vision systems for estimation of fat content in poultry meat. *Food Control*, 22, 1424-1427. Doi: 10.1016/j.foodcont.2011.03.002.
- Choi, D., Lee, W. S., Schueller, J., Ehsani, R., Roka, F. ve Diamond, J. (2017). A performance comparison of RGB, NIR, and depth images in immature citrus detection using deep learning algorithms for yield prediction. 2017 Spokane, Temmuz 2017, Washington. Doi: 10.13031/aim.201700076.
- Chuanlei, Z., Shanwen, Z., Jucheng, Y., Yancui, S. ve Jia, C. (2017). Apple leaf disease identification using genetic algorithm and correlation based feature selection method. *Int J Agric & Biol Eng*, 10, 74-83. Doi: 10.3965/j.ijabe.20171002.2166.
- Columbus, L. (2020). *Top 25 machine learning startups to watch in 2020*. Forbes, <https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2020/04/26/top-25-machine-learning-startups-to-watch-in-2020/?sh=3d54166c1f52> (Erişim Tarihi: 30/12/2021).
- Continental. (2021). *ContiConnect*. <https://www.continental-tires.com/transport/tire-monitoring/conticonnect> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Cook, D. (2006). Health monitoring and assistance to support aging in place. *J. UCS*, 12, 15-29. Doi: 10.3217/jucs-012-01-0015.
- Correia, R. M., Tosato, F., Domingos, E., Rodrigues, R. R. T., Aquino, L. F. M., Filgueiras, P. R., Lacerda, V. ve Romão, W. (2018). Portable near infrared spectroscopy applied to quality control of Brazilian coffee. *Talanta*, 176, 59-68. Doi: 10.1016/j.talanta.2017.08.009.
- Creasey, S. (2014). Wearable technology will up the game for sports data analytics. <https://www.computerweekly.com/feature/Wearable-technology-will-up-the-game-for-sports-data-analytics> (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Crook, C. (2008). Web 2.0 technologies for learning: the current landscape – opportunities, challenges and tensions. Corpus ID: 109009433.
- Dale, L. M., Thewis, A., Boudry, C., Rotar, I., Dardenne, P., Baeten, V. ve Pierna, J. A. F. (2013). Hyperspectral imaging applications in agriculture and agro-food product quality and safety control: A review. *Applied Spectroscopy Reviews*, 48 (2), 142-159. Doi: 10.1080/05704928.2012.705800.

- Danezis, G. P., Tsagkaris, A. S., Brusica, V. ve Georgiou, C. A. (2016). Food authentication: state of the art and prospects. *Current Opinion in Food Science*, 10, 22-31. Doi: 10.1016/j.cofs.2016.07.003
- Dave, P. K., Rojas-Cessa, R., Dong, Z. ve Umpaichitra, V. (2021). Survey of saliva components and virus sensors for prevention of COVID-19 and infectious diseases. *Biosensors*, 11 (1), 14. Doi: 10.3390/bios11010014.
- Davia-Aracil, M., Jimeno-Morenilla, A. ve Salas, F. (2016). A new methodological approach for shoe sole design and validation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86 (9), 3495-3516. Doi: 10.1007/s00170-016-8427-5.
- de Arriba-Pérez, F., Caeiro-Rodríguez, M. ve Santos-Gago, J. M. (2016). Collection and processing of data from wrist wearable devices in heterogeneous and multiple-user scenarios. *Sensors (Basel)*, 16 (9), 1538. Doi: 10.3390/s16091538.
- de Oliveira Mendes, T., Rocha, R., Porto, B., Oliveira, M., Anjos, V. ve Bell, M. J. (2015). Quantification of extra-virgin olive oil adulteration with soybean oil: a comparative study of NIR, MIR, and Raman spectroscopy associated with chemometric approaches. *Food Analytical Methods*, 8, 2339-2346. Doi: 10.1007/s12161-015-0121-y
- Dean, J. ve Ghemawat, S. (2008). MapReduce: simplified data processing on large clusters. *Communication of the ACM*, 51 (1), 107–113. Doi: 10.1145/1327452.1327492.
- Demiris, G. ve Hensel, B. K. (2008). Technologies for an aging society: A systematic review of "smart home" applications. *Yearb Med Inform*, 3 (01), 33-40. Doi: 10.1055/s-0038-1638580
- Dhanda, S. (2018). *How Chatbots will Transform the Retail Industry*. Juniper Research, <https://www.brand-news.it/wp-content/uploads/2018/07/How-Chatbots-Will-Transform-The-Retail-Industry-whitepaper.pdf> (Erişim Tarihi: 29/12/2021).
- Dias, P. A., Tabb, A. ve Medeiros, H. (2018). Apple flower detection using deep convolutional networks. *Computers in Industry*, 99, 17-28. Doi: 10.1016/j.compind.2018.03.010.
- Ding, D., Cooper, R. A., Pasquina, P. F. ve Fici-Pasquina, L. (2011). Sensor technology for smart homes. *Maturitas*, 69 (2), 131-136. Doi: 10.1016/j.maturitas.2011.03.016.
- DLG, Griepentrog, H. W., Uppenkamp, N. ve Hörner, R. (2018). *Digital Agriculture - Opportunities. Risks. Acceptance.* DLG, <https://www.dlg.org/en/agriculture/topics/a-dlg-position-paper> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Dorj, U.O., Lee, M., Yun, S. S. (2017). An yield estimation in citrus orchards via fruit detection and counting using image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 103-112. Doi: 10.1016/j.compag.2017.05.019.
- Dufour, É. (2009). *Chapter 1 - Principles of Infrared spectroscopy*. Editörler: D.-W. Sun. Academic Press, San Diego, 1-27.
- Ebling, M. J. I. P. C. (2016). IoT: From sports to fashion and everything in-between. *IEEE Pervasive Computing*, 15 (4), 2-4. Doi: 10.1109/MPRV.2016.71.
- Ebrahimi, M. A., Khoshtaghaza, M. H., Minaei, S. ve Jamshidi, B. (2017). Vision-based pest detection based on SVM classification method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 137, 52-58. Doi:10.1016/j.compag.2017.03.016.

- Edger, M. (2012). Letting go of errors and mistakes. <http://www.sportpsychologytoday.com/youth-sports-psychology/letting-go-of-errors-and-mistakes/> (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Elavsky, C. M. (2012). *You can't go back now: Incorporating "disruptive" technologies in the large lecture hall*. Lexington Books.
- Elbadawi, M., Ong, J. J., Pollard, T. D., Gaisford, S. ve Basit, A. W. (2021). Additive manufacturable materials for electrochemical biosensor electrodes. *Advanced Functional Materials*, 31 (10), 2006407. Doi: 10.1002/adfm.202006407.
- ElMasry, G. ve Sun, D.-W. (2010). *CHAPTER 1 - Principles of Hyperspectral Imaging Technology*, Editörler: D.-W. Sun. Academic Press, San Diego, 3-43.
- Elzabadani, H., Helal, A., Abdulrazak, B. ve Jansen, E. (2005). Self-sensing spaces: Smart plugs for smart environments. Corpus ID: 18774148.
- Erkinbaev, C., Henderson, K. ve Paliwal, J. (2017). Discrimination of gluten-free oats from contaminants using near infrared hyperspectral imaging technique. *Food Control*, 80, 197-203. Doi: 10.1016/j.foodcont.2017.04.036.
- Esteki, M., Simal-Gandara, J., Shahsavari, Z., Zandbaaf, S., Dashtaki, E. ve Vander Heyden, Y. (2018). A review on the application of chromatographic methods, coupled to chemometrics, for food authentication. *Food Control*, 93, 165-182. Doi: 10.1016/j.foodcont.2018.06.015.
- Eyers, D. ve Dotchev, K. (2010). Technology review for mass customisation using rapid manufacturing. *Assembly Automation*, 30, 39-46. Doi: 10.1108/01445151011016055.
- Eyers, D. R. ve Potter, A. T. (2017). Industrial additive manufacturing: A manufacturing systems perspective. *Computers in Industry*, 92-93, 208-218. Doi: 10.1016/j.compind.2017.08.002.
- Faggella, D. (2020). *7 applications of machine learning in pharma and medicine*. emerj The AI Research and Advisory Company, <https://emerj.com/ai-sector-overviews/machine-learning-in-pharma-medicine/> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Fan, Y. J., Yin, Y. H., Xu, L. D., Zeng, Y. ve Wu, F. (2014). IoT-Based smart rehabilitation system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10 (2), 1568-1577. Doi: 10.1109/TII.2014.2302583.
- Fei, Z., Li, B., Yang, S., Xing, C., Chen, H. ve Hanzo, L. (2017). A survey of multi-objective optimization in wireless sensor networks: metrics, algorithms and open problems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19, 550-586. Doi:10.1109/COMST.2016.2610578.
- Feiner, S. K. (2002). Augmented reality: A new way of seeing. *Scientific American*, 286 (4), 48-55. Doi: 10.1038/scientificamerican0402-48.
- Feng, Y.-Z. ve Sun, D.-W. (2012). Application of hyperspectral imaging in food safety inspection and control: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52 (11), 1039-1058. Doi: 10.1080/10408398.2011.651542.
- Ferraro, V. (2015). Smart textiles and wearable technologies for sportswear: A design approach. 2nd International Electronic Conference on Sensors and Applications. Kasım 2015. Doi: 10.3390/ecsa-2-S3005.
- Fletcher, J. T. ve Kong, S. G. (2003). Principal component analysis for poultry tumor inspection using hyperspectral fluorescence imaging. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2003.*, Temmuz 2003, Portland, OR. Doi: 10.1109/IJCNN.2003.1223319.

- Folsom, T. C. (2012). Energy and autonomous urban land vehicles. *IEEE Technology and Society Magazine*, 31 (2), 28-38. Doi: 10.1109/MTS.2012.2196339.
- Forina, M., Oliveri, P., Bagnasco, L., Simonetti, R., Casolino, M. C., Nizzi Grifi, F. ve Casale, M. (2015). Artificial nose, NIR and UV-visible spectroscopy for the characterisation of the PDO Chianti Classico olive oil. *Talanta*, 144, 1070-1078. Doi: 10.1016/j.talanta.2015.07.067.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S. ve Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. Doi: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.
- Gaddam, A., Mukhopadhyay, S. C. ve Gupta, G. S. (2010). Towards the development of a cognitive sensors network based home for elder care. 2010 6th International Conference on Wireless and Mobile Communications, Eylül 2010, Valencia, İspanya. Doi: 10.1109/ICWMC.2010.93.
- García, J., Pope, C. ve Altimiras, F. (2017). A distributed k-means segmentation algorithm applied to lobesia botrana recognition. *Complexity*, 2017, 5137317. Doi: 10.1155/2017/5137317.
- Gentry, T. (2009). Smart homes for people with neurological disability: State of the art. *NeuroRehabilitation*, 25 (3), 209-217. Doi: 10.3233/NRE-2009-0517.
- Ghemawat, S., Gobioff, H. ve Leung, S.-T. (2003). The Google file system. Proceedings of the nineteenth ACM symposium on Operating systems principles, Ekim 2003, Bolton Landing, New York, ABD. Doi: 10.1145/945445.945450
- Gibson, I., Rosen, D. W. ve Stucker, B. (2015). Additive manufacturing technologies. *Springer*, Boston, MA, XXI, 498.
- Giesler, S. (2018). Digitisation in agriculture - from precision farming to farming 4.0. BIOPRO Baden-Württemberg GmbH, <https://www.biooekonomie-bw.de/en/articles/dossiers/digitisation-in-agriculture-from-precision-farming-to-farming-40> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Giraud, A., Grassi, S., Savorani, F., Gavoci, G., Casiraghi, E. ve Geobaldo, F. (2018). Determination of the geographical origin of green coffee beans using NIR spectroscopy and multivariate data analysis. *Food Control*, 99. Doi:10.1016/j.foodcont.2018.12.033.
- GN, C. K. (2018). *Artificial intelligence: definition, types, examples, technologies*. Medium, <https://disfold.com/top-ai-startups/> (Erişim Tarihi: 30/12/2021).
- Govus, A. D., Coutts, A., Duffield, R., Murray, A. ve Fullagar, H. (2018). Relationship between pretraining subjective wellness measures, player load, and rating-of-perceived-exertion training load in American college football. *Int J Sports Physiol Perform*, 13 (1), 95-101. Doi: 10.1123/ijpspp.2016-0714.
- Gowen, A., O'Donnell, C., Cullen, P. J., Downey, G. ve Frías, J. (2007). Hyperspectral imaging-An emerging process analytical tool for food quality and safety control. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 590-598. Doi: 10.1016/j.tifs.2007.06.001.
- Graham, R. ve Ryan, K. M. (2014). *Taking down goliath : digital marketing strategy guide for beating competitors with 100 times your spending power*. Palgrave MacMillan Us, 238.
- Greenberg, A., Hamilton, J. R., Jain, N., Kandula, S., Kim, C., Lahiri, P., Maltz, D. A., Patel, P. ve Sengupta, S. (2009). VL2: a scalable and flexible data center network. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 39 (4), 51-62. Doi:10.1145/1594977.1592576. ,

- Greenblatt, J. B. ve Shaheen, S. (2015). Automated vehicles, on-demand mobility, and environmental impacts. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 2 (3), 74-81. Doi:10.1007/s40518-015-0038-5.
- Grzybowska, K. ve Łupicka, A. (2017). Key competencies for Industry 4.0. *International Conference on Economics & Management Innovations (ICEMI)*, 1 (1), 250-253. Doi:10.26480/icemi.01.2017.250.253.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. ve Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29 (7), 1645-1660. Doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.
- Gülen, K. G. (2010). *Lojistik sektöründe durum analizi ve rekabetçi stratejiler*. İTO, İstanbul.
- Gunal, M. M. (2019). *Simulation and the fourth industrial revolution*, Editörler: M. M. Gunal. Springer International Publishing, Cham, 1-17.
- Guo, C., Lu, G., Li, D., Wu, H., Zhang, X., Shi, Y., Ruyue, L., Zhang, Y. ve Lu, S. (2009). BCube: A high performance, server-centric network architecture for modular data centers. SIGCOMM '09: Proceedings of the ACM SIGCOMM 2009 conference on Data communication, Ağustos 2009, Barselona, İspanya. Doi: 10.1145/1592568.1592577.
- Guo, C., Wu, H., Tan, K., Shi, L., Zhang, Y. ve Lu, S. (2008). DCell: A scalable and fault-tolerant network structure for data centers. SIGCOMM '08: Proceedings of the ACM SIGCOMM 2008 conference on Data communication, Ağustos 2008, Seattle, ABD, Doi: 10.1145/1402958.1402968.
- Gupta, V., Simmons, D. G., Labs, S. ve Oracle. (2010). "Building the Web of Things with Sun SPOTs" JavaOne 2010, Hands-on Lab. (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Gür, N., Ünay, S. ve Dilek, Ş. (2017). *Sanayiye yeniden düşünmek. Küresel teknolojik dönüşümün Dünya ve Türkiye ekonomisine yansımaları*. İstanbul: SETA Kitapları,
- Gwosdz, K., Micek, G., Kocaj, A., Sobala-Gwosdz, A. ve Zwigost-Kapocsi, A. (2020). *Industry 4.0 and the prospects for domestic automotive suppliers in Poland*. The European Trade Union Institute, European Union, 89–105.,
- Hamuda, E., Mc Ginley, B., Glavin, M. ve Jones, E. (2017). Automatic crop detection under field conditions using the HSV colour space and morphological operations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 133, 97-107. Doi: 10.1016/j.compag.2016.11.021.
- Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A. ve Ullah Khan, S. (2015). The rise of "big data" on cloud computing: Review and open research issues. *Information Systems*, 47, 98-115. Doi: 10.1016/j.is.2014.07.006.
- He, B., Liu, G., Ji, Y., Si, Y. ve Gao, R. (2011). Auto recognition of navigation path for harvest robot based on machine vision. *Computer and Computing Technologies in Agriculture IV*, 2011, Berlin, Heidelberg.
- He, W. ve Xu, L. (2014). Integration of distributed enterprise applications: A survey. *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, 10, 35-42. Doi: 10.1109/TII.2012.2189221.
- Helal, S., Mann, W., El-Zabadani, H., King, J., Kaddoura, Y. ve Jansen, E. (2005). The Gator Tech Smart House: a programmable pervasive space. *Computer*, 38 (3), 50-60. Doi: 10.1109/MC.2005.107.

- Hinch, W. (2020). 8 technology trends driving the sports industry. <https://blog.pitchero.com/8-technology-trends-driving-the-sports-industry> (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Hlaing, C. S., Zaw, S. M. M. (2017). Plant diseases recognition for smart farming using model-based statistical features. 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Ekim 2017, Nagoya, Japonya. Doi: 10.1109/GCCE.2017.8229343.
- Hong, X., Nugent, C., Mulvenna, M., McClean, S., Scotney, B. ve Devlin, S. (2009). Evidential fusion of sensor data for activity recognition in smart homes. *Pervasive and Mobile Computing*, 5, 236-252. Doi: 10.1016/j.pmcj.2008.05.002.
- Hopkinson, N. H. R. J. M. D. P. M. (2006). Rapid manufacturing : An industrial revolution for the digital age. John Wiley, Chichester, England,
- Howard, D. ve Dai, D. (2014). Public perceptions of self-driving cars: the case of berkeley, California.
- Hu, Q.-X., Tian, J. ve He, D.-J. (2017). Wheat leaf lesion color image segmentation with improved multichannel selection based on the Chan–Vese model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 135, 260-268. Doi: 10.1016/j.compag.2017.01.016.
- Hu, X., Sun, L., Zhou, Y. ve Ruan, J. (2020). Review of operational management in intelligent agriculture based on the Internet of Things. *Frontiers of Engineering Management*, 7 (3), 309-322. Doi: [10.1007/s42524-020-0107-3](https://doi.org/10.1007/s42524-020-0107-3).
- İkiler, V., Kayoğlu, Ç. ve Göl, H. (2020). *Türkiye’de tahmini medya ve reklam yatırımları*. Deloitte Danışmanlık A.Ş.
- Ilková, V. ve Ilka, A. (2017). Legal aspects of autonomous vehicles – an overview (pre-print). Conference: 21st International Conference on Process Control (PC), Haziran 2017, Štrbské Pleso, Slovakia, Doi:10.1109/PC.2017.7976252.
- Intille, S., Larson, K., Beaudin, J., Tapia, E., Kaushik, P., Nawyn, J. ve McLeish, T. (2010). The PlaceLab: a live-in laboratory for pervasive computing research (Video).
- Iqbal, M. H., Aydin, A., Brunckhorst, O., Dasgupta, P. ve Ahmed, K. (2016). A review of wearable technology in medicine. *J R Soc Med*, 109 (10), 372-380. Doi: 10.1177/0141076816663560.
- Iqbal, Z., Khan, M. A., Sharif, M., Shah, J. H., Ur Rehman, M. H. ve Javed, K. (2018). An automated detection and classification of citrus plant diseases using image processing techniques: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 12-32. Doi: 10.1016/j.compag.2018.07.032.
- Islam, M., Dinh, A., Wahid, K. ve Bhowmik, P. (2017). Detection of potato diseases using image segmentation and multiclass support vector machine. 2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Nisan-Mayıs 2017, Windsor, ON, Kanada. Doi: 10.1109/CCECE.2017.7946594.
- İzmen, Ü., Kılıçaslan, Y. ve Gürel, Y. Ü. (2020). *Türkiye’nin dijital dönüşüm endeksi 2020*. TÜBİSAD. İstanbul.
- Jhajharia, S., Pal, S. ve Verma, S. (2014). Wearable computing and its application. (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5, 5700-5704. Corpus ID: 541229.
- Jiménez-Carvelo, A. M., Lozano, V. A. ve Olivieri, A. C. (2019). Comparative chemometric analysis of fluorescence and near infrared spectroscopies for authenticity confirmation and geographical origin of Argentinean extra virgin olive oils. *Food Control*, 96, 22-28. Doi: 10.1016/j.foodcont.2018.08.024.

- Jovanov, E., Milenkovic, A., Otto, C. ve Groen, P. (2005). A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation. *J Neuroengineering Rehabil*, 2, 6. Doi: 10.1186/1743-0003-2-6.
- Junco, R., Heiberger, G. ve Loken, E. (2011). The effect of Twitter on college student engagement and grades. *27 (2)*, 119-132. Doi: 10.1111/j.1365-2729.2010.00387.x.
- Jyoti, Redondo, E., Alduhaish, O. ve Pumera, M. (2021). 3D-printed nanocarbon sensors for the detection of chlorophenols and nitrophenols: Towards environmental applications of additive manufacturing. *Electrochemistry Communications*, 125, 106984. Doi:10.1016/j.elecom.2021.106984.
- Kagermann, H. (2015). *Change through digitization—value creation in the age of Industry 4.0*, Editörler: H. Albach, H. Meffert, A. Pinkwart, & R. Reichwald. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 23-45.
- Kagermann, H., Anderl, R., Gausemeier, J., Schuh, G. ve Wahlster, W. (2016). Industrie 4.0 in a global context - strategies for cooperating with international partners. <https://www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-im-globalen-kontext-strategien-der-zusammenarbeit-mit-internationalen-partnern/> (Erişim Tarihi: 15/01/2022).
- Kalantari, M. (2017). Consumers' adoption of wearable technologies: literature review, synthesis, and future research agenda. *International Journal of Technology Marketing*, 12 (3), 274-307. Doi:10.1504/IJTMKT.2017.10008634.
- Kamišalić, A., Fister, I., Jr., Turkanović, M. ve Karakatič, S. (2018). Sensors and functionalities of non-invasive wrist-wearable devices: A review. *Sensors (Basel)*, 18 (6), 1714. Doi: 10.3390/s18061714.
- Kanoun, O. ve Trankler, H. R. (2005). Sensor technology advances and future trends. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, 53, 1497-1501. Doi: 10.1109/TIM.2004.834613.
- Kantarıcı, Ö., Özalp, M., Sezginsoy, C., Özaşkın, O. ve Cavlak, C. (2017). *Dijitalleşen dünyada ekonominin itici gücü: e-ticaret*. TÜSİAD. İstanbul.
- Karunathilaka, S. R., Kia, A. F., Srigley, C., Chung, J. K. ve Mossoba, M. M. (2016). Nontargeted, rapid screening of extra virgin olive oil products for authenticity using near-infrared spectroscopy in combination with conformity index and multivariate statistical analyses. *J Food Sci*, 81 (10), C2390-C2397. Doi: 10.1111/1750-3841.13432.
- Kasa, H. ve Arslan, G. (2020). Endüstri 4.0 kapsamında teorik bir analiz: Türkiye örneği theoretical analysis of Industry 4.0: the case of Turkey. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19, 1810-1826. Doi: 10.17755/esosder.665849.
- Kesayak, B. (2018). Endüstri 4.0'da sensörlerin önemi. <http://www.endustri40.com/endustri-4-0da-sensorlerin-onemi/> (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Khajavi, S., Holmström, J. ve Partanen, J. (2018). Additive manufacturing in the spare parts supply chain: Hub configuration and technology maturity. *Rapid Prototyping Journal*, 24 (2). Doi: 10.1108/RPJ-03-2017-0052.
- Khajavi, S., Partanen, J., Holmström, J. ve Tuomi, J. (2015). Risk reduction in new product launch: A hybrid approach combining direct digital and tool-based manufacturing. *Computers in Industry*, 74, 29-42. Doi:10.1016/j.compind.2015.08.008.

- Kim, M., Chao, K., Chen, Y.-R., Chan, D. ve Mehl, P. (2001). Hyperspectral imaging system for food safety: Detection of fecal contamination on apples. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering (SPIE OE)*, 4206 174-184. Doi: 10.1117/12.418727.
- Klapdor, S. (2013). Effectiveness of online marketing campaigns: An investigation into online multichannel and search engine advertising. *Springer Gabler*, 156. Doi: 10.1007/978-3-658-01732-3.
- Kleinberger, T., Becker, M., Ras, E., Holzinger, A. ve Müller, P. (2007). Ambient intelligence in assisted living: Enable elderly people to handle future interfaces. *Universal Access in Human-Computer Interaction. Ambient Interaction*, Temmuz 2007, Berlin, Heidelberg. Doi:10.1007/978-3-540-73281-5_11.
- Kim, M. S., Lefcourt, A. M., Chao, K., Chen, Y. R., Kim, I., Chan, D. E. (2002). Multispectral detection of fecal contamination on apples based on hyperspectral imagery: Part I. Application of visible and near-infrared reflectance imaging. *Transactions of the ASAE*, 45 (6), 2027-2037. Doi: 10.13031/2013.11414.
- Kim, M. S., Lefcourt, A. M., Chen, Y. R., Kim, I., Chan, D. E. ve Chao, K. (2002). Multispectral detection of fecal contamination on apples based on hyperspectral imagery: Part II. Application of hyperspectral fluorescence imaging. *Transactions of the ASAE*, 45 (6), 2039-2047. Doi:10.13031/2013.11416.
- Knoll, F., Czymmek, V., Poczihoski, S., Holtorf, T. ve Hussmann, S. (2018). Improving efficiency of organic farming by using a deep learning classification approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 347-356. Doi: 10.1016/j.compag.2018.08.032.
- Koçak, S. (2021). Enerji 4.0: Enerji sektöründe dijitalleşme. <https://www.endustri40.com/enerji-4-0-enerji-sektorunde-dijitallesme/> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- König, M., Neumayr, L. (2017). Users' resistance towards radical innovations: The case of the self-driving car. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 44: 42-52. Doi: 10.1016/j.trf.2016.10.013.
- Kumar, A. (2018). Methods and materials for smart manufacturing: Additive manufacturing, internet of things, flexible sensors and soft robotics. *Manufacturing Letters*, 15, 122-125. Doi: 10.1016/j.mfglet.2017.12.014.
- Kundak, S. ve Aydoğuş, İ. (2018). Analysis of the Turkish manufacturing industry's dependence on imports. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 17 (1), 252-266. Doi: 10.21547/jss.348833.
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56 (1-2), 508-517. Doi: 10.1080/00207543.2017.1351644.
- Kwon, J., Park, H. W., Park, Y.-B. ve Kim, N. (2017). Potentials of additive manufacturing with smart materials for chemical biomarkers in wearable applications. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 4 (3), 335-347. Doi: 10.1007/s40684-017-0039-5.
- Kyriakidis, M., Happee, R. ve de Winter, J. C. F. (2015). Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 127-140. Doi: 10.1016/j.trf.2015.04.014.
- Lackner, G. (2013). A comparison of security in wireless network standards with a focus on bluetooth, WiFi and WiMAX. *International Journal of Network Security*, 15, 420-436.

- Lam, T. ve Chan, R. (2018). *Ten digital trends shaping the future of retail*. Fung Business Intelligence, <https://www.tradegecko.com/retail-digitalization> (Erişim Tarihi: 29/12/2021).
- Laroussi-Mezghani, S., Vanloot, P., Molinet, J., Dupuy, N., Hammami, M., Grati-Kamoun, N. ve Artaud, J. (2015). Authentication of Tunisian virgin olive oils by chemometric analysis of fatty acid compositions and NIR spectra. Comparison with Maghrebian and French virgin olive oils. *Food Chem*, 173, 122-132. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.002.
- Lefcourt, A., Kim, M. S. ve Chen, Y.-R. (2005). A transportable fluorescence imaging system for detecting fecal contaminants. *Computers and Electronics in Agriculture*, 48 (1). Doi:10.1016/j.compag.2005.01.002.
- Lefcourt, A. M., Kim, M. S. ve Chen, Y. R. (2005). Detection of fecal contamination on apples with nanosecond-scale time-resolved imaging of laser-induced fluorescence. *Appl Opt*, 44 (7), 1160-1170. Doi: 10.1364/AO.44.001160.
- Lefcourt, A., Kim, M. S., Chen, Y.-R. ve Kang, S. (2006). Systematic approach for using hyperspectral imaging data to develop multispectral imaging systems: Detection of feces on apples. *Computers and Electronics in Agriculture*, 54, 22-35. Doi: 10.1016/j.compag.2006.06.002.
- Lehmhus, D., Aumund-Kopp, C., Petzoldt, F., Godlinski, D., Haberkorn, A., Zöllmer, V. ve Busse, M. (2016). Customized smartness: a survey on links between additive manufacturing and sensor integration. *Procedia Technology*, 26, 284-301. Doi: 10.1016/j.protcy.2016.08.038.
- Levinson, J., Askeland, J., Becker, J., Dolson, J., Held, D., Kammel, S., Kolter, J. Z., Langer, D., Pink, O., Pratt, V., Sokolsky, M., Stanek, G., Stavens, D., Teichman, A., Werling, M. ve Thrun, S. (2011). Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms. 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Haziran 2011, Baden, Germany. Doi: 10.1109/IVS.2011.5940562.
- Li, M., Jiang, F. ve Pei, C. (2020). Review on positioning technology of wireless sensor networks. *Wireless Personal Communications*, 115 (3), 2023-2046. Doi: 10.1007/s11277-020-07667-7.
- Li, S., Xu, L., Wang, X. ve Wang, J. (2012). Integration of hybrid wireless networks in cloud services oriented enterprise information systems. *Enterprise Information Systems*, 6 (2), 165-187. Doi: 10.1080/17517575.2011.654266.
- Li, Y., Feng, Z., Huang, L., Essa, K., Bilotti, E., Zhang, H., Peijs, T. ve Hao, L. (2019). Additive manufacturing high performance graphene-based composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 124, 105483. Doi: 10.1016/j.compositesa.2019.105483.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S. ve Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18 (8), 2674. Doi: 10.3390/s18082674.
- Liu, F., Tan, C.-W., Lim, E. T. K. ve Choi, B. (2017). Traversing knowledge networks: An algorithmic historiography of extant literature on the Internet of Things (IoT). *Journal of Management Analytics*, 4 (1), 3-34. Doi: 10.1080/23270012.2016.1214540.
- Liu, Y., Chen, Y.-R., Kim, M. S., Chan, D. ve Lefcourt, A. (2007a). Development of simple algorithms for the detection of fecal contaminants on apples from visible/near infrared hyperspectral reflectance imaging. *Journal of Food Engineering - J FOOD ENG*, 81.

- Liu, Y., Chen, Y.-R., Kim, M. S., Chan, D. E. ve Lefcourt, A. M. (2007b). Development of simple algorithms for the detection of fecal contaminants on apples from visible/near infrared hyperspectral reflectance imaging. *Journal of Food Engineering*, 81 (2), 412-418. Doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.11.018.
- Lizotte, C. (2014). A view inside ford's 3D printing lab. <https://3dprint.com/5318/ford-3d-printing/> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Lorenz, R., Buess, P., Macuvele, J., Friedli, T. ve Netland, T. (2019). *Lean and digitalization—contradictions or complements?*, Editörler: 77-84.
- Lovari, A. ve Giglietto, F. (2012). Social media and Italian universities: An empirical study on the adoption and use of Facebook, Twitter And Youtube. *SSRN Electronic Journal*. Doi: 10.2139/ssrn.1978393.
- Lowe, B. ve Laffey, D. (2011). Is Twitter for the birds? *Journal of Marketing Education - J Market Educ*, 33 (2), 183-192. Doi: 10.1177/0273475311410851.
- Lu, T. ve Neng, W. (2010). Future internet: The internet of things. 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), Ağustos 2010. Çengdu, Çin. Doi: 10.1109/ICACTE.2010.5579543.
- Lu, X., Al-Qadiri, H. M., Lin, M. ve Rasco, B. A. (2011). Application of Mid-Infrared and Raman spectroscopy to the study of bacteria. *Food and Bioprocess Technology*, 4 (6), 919-935. Doi: 10.1007/s11947-011-0516-8.
- Lu, Y. ve Wang, Y. (2018). Monitoring temperature in additive manufacturing with physics-based compressive sensing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48- 60-70. Doi: 10.1016/j.jmsy.2018.05.010.
- Luna, A. S., da Silva, A. P., Alves, E. A., Rocha, R. B., Lima, I. C. A. ve de Gois, J. S. (2017). Evaluation of chemometric methodologies for the classification of Coffea canephora cultivars via FT-NIR spectroscopy and direct sample analysis. *Analytical Methods*, 9 (29), 4255-4260. Doi: 10.1039/C7AY01167A.
- Magnin, C. (2016). How big data will revolutionize the global food chain. McKinsey&Company, <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/how-big-data-will-revolutionize-the-global-food-chain-> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Mahale, R. S., Vasanth, S., Krishna, H., Chikkegouda, S. P., Rajendrachari, S., Patil, A. ve Rathod, B. S. (2021). Sensor-based additive manufacturing technologies. *Platinum Open Access Journal*, 12 (3), 3513-3521. Doi: 10.33263/BRIAC123.35133521.
- Majeed, B. A. ve Brown, S. J. (2006). Developing a well-being monitoring system— Modeling and data analysis techniques. *Applied Soft Computing*, 384–393. Doi: 10.1016/j.asoc.2005.11.004.
- Makhni, E. C., Lizzio, V. A., Meta, F., Stephens, J. P., Okoroha, K. R. ve Moutzouros, V. (2018). Assessment of elbow torque and other parameters during the pitching motion: comparison of fastball, curveball, and change-up. *Arthroscopy*, 34 (3), 816-822. Doi: 10.1016/j.arthro.2017.09.045.
- Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P. ve Marrs, A. (2013). *Disruptive technologies: advances that will transform life, business, and the global economy*. McKinsey Global Institute.
- Mao, A., Ma, X., He, Y. ve Luo, J. (2017). Highly portable, sensor-based system for human fall monitoring. *Sensors*, 17 (9), 2096. Doi:10.3390/s17092096.
- Mao, J., Zhou, Q., Sarmiento, M. D., Chen, J., Wang, P., Jonsson, F., Xu, L. D., Zheng, L. R. ve Zou, Z. (2016). A hybrid reader transceiver design for industrial internet

- of things. *Journal of Industrial Information Integration*, 2, 19-29. Doi: 10.1016/j.jii.2016.05.001.
- Marchant, J. A. (1996). Tracking of row structure in three crops using image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 15 (2), 161-179. Doi: 10.1016/0168-1699(96)00014-2.
- Mardonova, M. ve Choi, Y. (2018). Review of wearable device technology and its applications to the mining industry. *Energies*, 11 (3), 547. Doi: 10.3390/en11030547.
- Marquetti, I., Link, J., Lemes, A., Scholz, M. B., Valderrama, P. ve Bona, E. (2016). Partial least square with discriminant analysis and near infrared spectroscopy for evaluation of geographic and genotypic origin of arabica coffee. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 313-319. Doi: 10.1016/j.compag.2015.12.018.
- Marr, B. (2018). What is Industry 4.0? Here's a super easy explanation for anyone. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=61d0aa809788-> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- McCathie, L. (2004). The advantages and disadvantages of barcodes and radio frequency identification in supply chain management. *Bachelor of Information and Communication Technology (Honours), University of Wollongong*, 123.
- McNely, B. (2009). Backchannel persistence and collaborative meaning-making. Proceedings of the 27th ACM international conference on Design of communication, Ocak 2009, Bloomington, Indiana, ABD. Doi: 10.1145/1621995.1622053.
- Meena, S. ve O'Grady, M. (2016). Forrester data mobile, smartphone, and tablet forecast 2016 to 2021 (global).
- Mell, P. ve Grance, T. (2021). The NIST definition of cloud computing. <https://www.nist.gov/system/files/documents/itl/cloud/cloud-def-v15.pdf> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Michael, M., Phebus, R. ve Amamcharla, J. (2019). Hyperspectral imaging of common foodborne pathogens for rapid identification and differentiation. *Food Science & Nutrition*, 7. Doi: 10.1002/fsn3.1131.
- Milioto, A., Lottes, P. ve Stachniss, C. (2017). Real-time semantic segmentation of crop and weed for precision agriculture robots leveraging background knowledge in CNNs. <https://arxiv.org/abs/1709.06764>.
- Minaei, S., Shafiee, S., Polder, G., Moghadam-Charkari, N., Van Ruth, S., Barzegar, M., Zahiri, J., Alewijn, M. ve Kuś, P. M. (2017). VIS/NIR imaging application for honey floral origin determination. *Infrared Physics & Technology*, 86, 218-225. Doi: 10.1016/j.infrared.2017.09.001.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F. ve Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10 (7), 1497-1516. Doi: 10.1016/j.adhoc.2012.02.016.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D. ve Wuest, T. (2017). Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233 (5), 1342-1361. Doi: 10.1177/0954405417736547.
- Mo, C., Lim, J., Kwon, S. W., Lim, D. K., Kim, M. S., Kim, G., Kang, J., Kwon, K.-D. ve Cho, B.-K. (2017). Hyperspectral imaging and partial least square discriminant

- analysis for geographical origin discrimination of white rice. *J. of Biosystems Eng.*, 42 (4), 293-300. Doi: 10.5307/JBE.2017.42.4.293.
- Mohebbi, M., Akbarzadeh-T, M.-R., Shahidi, F., Moussavi, M. ve Ghodduzi, H. (2009). Computer vision systems (CVS) for moisture content estimation in dehydrated shrimp. *Computers and Electronics in Agriculture*, 69 (2), 128-134. Doi: 10.1016/j.compag.2009.07.005.
- Momin, M. A., Rahman, M. T., Sultana, M. S., Igathinathane, C., Ziauddin, A. T. M. ve Grift, T. E. (2017). Geometry-based mass grading of mango fruits using image processing. *Information Processing in Agriculture*, 4 (2), 150-160. Doi: 10.1016/j.inpa.2017.03.003.
- Moody-Ramirez, M. (2010). Teaching twitter and beyond: Tips for incorporating social media in traditional courses. *Journal of Magazine & New Media Research*, 11 (2). Doi: 10.1353/jmm.2010.0014.
- Morrow, W. R., Greenblatt, J. B., Sturges, A., Saxena, S., Gopal, A., Millstein, D., Shah, N. ve Gilmore, E. A. (2014). *Key Factors Influencing Autonomous Vehicles' Energy and Environmental Outcome*, Editörler: G. Meyer & S. Beiker. Springer International Publishing, Cham, 127-135.
- Mossoba, M. M., Azizian, H., Fardin-Kia, A. R., Karunathilaka, S. R. ve Kramer, J. K. G. (2017). First application of newly developed FT-NIR spectroscopic methodology to predict authenticity of extra virgin olive oil retail products in the USA. *Lipids*, 52 (5), 443-455. Doi:10.1007/s11745-017-4250-5.
- Muñoz, J. ve Pumera, M. (2020). 3D-printed biosensors for electrochemical and optical applications. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 128, 115933. Doi: 10.1016/j.trac.2020.115933.
- Muscato, G., Prestifilippo, M., Abbate, N. ve Rizzuto, I. (2005). A prototype of an orange picking robot: Past history, the new robot and experimental results. *Industrial Robot: An International Journal*, 32 (2), 128-138. Doi:10.1108/01439910510582255.
- Mysore, R. N., Pamboris, A., Farrington, N., Huang, N., Miri, P., Radhakrishnan, S., Subramanya, V. ve Vahdat, A. (2009). PortLand: a scalable fault-tolerant layer 2 data center network fabric. *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2009 conference on Data communication review*, 39 (4), 39-50. Doi: 10.1145/1594977.1592575.
- Nesaei, S., Song, Y., Wang, Y., Ruan, X., Du, D., Gozen, A. ve Lin, Y. (2018). Micro additive manufacturing of glucose biosensors: A feasibility study. *Analytica Chimica Acta*, 1043, 142-149. Doi: 10.1016/j.aca.2018.09.012.
- Nex, F. ve Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6 (1), 1-15. Doi: 10.1007/s12518-013-0120-x.
- Nicholas, M. B., David, C., Pawel, G., Lisa, G., Jianzhao, H., Robert, L., Lili, L., Ioanis, N., Cheryl, S. ve Eleni, S. (2011). *The smart condo project: services for independent living*, Editörler: R. Carsten & Z. Martina. IGI Global, Hershey, PA, USA, 289-314.
- Nielsen, T. ve Haustein, S. (2018). On sceptics and enthusiasts: What are the expectations towards self-driving cars? *Transport Policy*, 66, 49-55. Doi: 10.1016/j.tranpol.2018.03.004.
- Nonomura, Y. (2020). Sensor technologies for automobiles and robots. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 15 (7), 984-994. Doi: 10.1002/tee.23142.

- Nordhoff, S., Arem, B. ve Happee, R. (2016). Conceptual model to explain, predict, and improve user acceptance of driverless podlike vehicles. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2602, 60-67. Doi:10.3141/2602-08.
- Nuroğlu, E. (2018). Sanayide dijital dönüşüm yarışında Türkiye'nin dış ticareti için fırsatlar ve tehditler. 14th International Conference on Knowledge, Economy & Management Proceedings, 2018 of Conference, İstanbul.
- Nuroğlu, E. ve Nuroğlu, H. H. (2018). Endüstri 4.0'i Türkiye'nin dış ticareti için bir fırsat penceresine dönüştürmek. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 16 (1), 329 - 346. Doi: 10.11611/yead.458090.
- O'Donnell, J., Kim, M. ve Yoon, H.-S. (2016). A review on electromechanical devices fabricated by additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139 (1). Doi: 10.1115/1.4033758.
- Oppenheim, D. (2017). Detecting tomato flowers in greenhouses using computer vision. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 11 (1). Doi:10.5281/zenodo.1128833.
- Ortiz, J. ve Olivares, M. (2006). A vision based navigation system for an agricultural field robot. 2006 IEEE 3rd Latin American Robotics Symposium, Ekim 2006, Santiago, Şili. Doi: 10.1109/LARS.2006.334338.
- Otero, F. ve Magner, E. (2020). Biosensors—recent advances and future challenges in electrode materials. *Sensors*, 20 (12), 3561. Doi: 10.3390/s20123561.
- Özkan, M., Al, A. ve Yavuz, S. (2018). Uluslararası politik ekonomi açısından dördüncü sanayi-endüstri devrimi'nin etkileri ve Türkiye. *Marmara Üniversitesi Siyasal Bilimler Dergisi*, 1 (1), 1-30. Doi:10.14782/marusbd.418669.
- Padash, M., Enz, C. ve Carrara, S. (2020). Microfluidics by additive manufacturing for wearable biosensors: A review. *Sensors*, 20 (15), 4236. Doi: 10.3390/s20154236.
- Pajares, G., García-Santillán, I., Campos, Y., Montalvo, M., Guerrero, J. M., Emmi, L., Romeo, J., Guijarro, M. ve Gonzalez-de-Santos, P. (2016). Machine-Vision systems selection for agricultural vehicles: A guide. *Journal of Imaging*, 2 (4), 34. Doi: 10.3390/jimaging2040034.
- Parliament, E., Services, D.-G. F. P. R., Daheim, C., Poppe, K. ve Schrijver, R. (2019). *Precision agriculture and the future of farming in Europe: Scientific foresight study*. European Parliament, Doi:10.2861/020809.
- Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L. ve Rodgers, M. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*, 9, 21. Doi:10.1186/1743-0003-9-21.
- Pereira, A. C. ve Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214. Doi:10.1016/j.promfg.2017.09.032.
- Pérez, D. S., Bromberg, F. ve Diaz, C. A. (2017). Image classification for detection of winter grapevine buds in natural conditions using scale-invariant features transform, bag of features and support vector machines. *Computers and Electronics in Agriculture*, 135, 81-95. Doi:10.1016/j.compag.2017.01.020.
- Petrovic, V., Vicente Haro Gonzalez, J., Jordá Ferrando, O., Delgado Gordillo, J., Ramón Blasco Puchades, J., Portolés Griñan ve L. J. I. J. o. P. R. (2011). Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. 49, 1061 - 1079. Doi: 10.1080/00207540903479786.

- Picouet, P. A., Gou, P., Hyypiö, R. ve Castellari, M. (2018). Implementation of NIR technology for at-line rapid detection of sunflower oil adulterated with mineral oil. *Journal of Food Engineering*, 230, 18-27. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.01.011.
- Polat, H. (2011). Türkiye ekonomisinde imalat sanayi. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1 (2), 24-39.
- Ponce, J. M., Aquino, A., Millán, B. ve Andújar, J. M. (2018). Olive-fruit mass and size estimation using image analysis and feature modeling. *Sensors (Basel)*, 18 (9), 2930. Doi: 10.3390/s18092930.
- Prakash, R. M., Saraswathy, G. P., Ramalakshmi, G., Mangaleswari, K. H. ve Kaviya, T. (2017). Detection of leaf diseases and classification using digital image processing. 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), Mart 2017, Coimbatore, Hindistan. Doi: 10.1109/ICIIECS.2017.8275915
- Prinz, C., Breikopf, N. ve Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23, 21-26. Doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.155.
- Rehber, E. ve Vural, H. (2018). *Tarım ekonomisi*. BUÜ Ziraat Fakültesi yayınları. p.459.
- Qin, J., Chao, K. ve Kim, M. (2010). Raman chemical imaging system for food safety and quality inspection. *Transactions of the ASABE*, 53 (6), 1873-1882. Doi: 10.13031/2013.35796.
- Qin, J., Liu, Y. ve Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173-178. Doi: 10.1016/j.procir.2016.08.005.
- Rady, A. ve Adedeji, A. (2018). Assessing different processed meats for adulterants using visible-near-infrared spectroscopy. *Meat Science*, 136, 59-67. Doi:10.1016/j.meatsci.2017.10.014.
- Rahman, M. T., Rahimi, A., Gupta, S. ve Panat, R. (2016). Microscale additive manufacturing and modeling of interdigitated capacitive touch sensors. *Sensors and Actuators A: Physical*, 248, 94-103. Doi: 10.1016/j.sna.2016.07.014.
- Rajendrachari, S., Swamy, B. E. K., Reddy, S. ve Chaira, D. (2013). Synthesis of silver nanoparticles and their applications. *Analytical and Bioanalytical Electrochemistry*, 5 (4), 455-466.
- Rantz, M., Aud, M., Alexander, G., Oliver, D., Donna, M., Skubic, M., Keller, J., He, Z., Popescu, M., Demiris, G. ve Miller, S. (2008). TigerPlace: An innovative educational and research environment. *AAAI Fall Symposium - Technical Report*. Corpus ID: 9548038
- Rantz, M., Skubic, M., Miller, S. ve Krampe, J. (2008). Using technology to enhance aging in place. In: Helal, S., Mitra, S., Wong, J., Chang, C.K., Mokhtari, M. (eds) *Smart Homes and Health Telematics*. ICOST 2008. Lecture Notes in Computer Science, 5120. Springer, Berlin, Heidelberg. Doi:10.1007/978-3-540-69916-3_20.
- Rathore, R. (2017). *Measuring manufacturing excellence*. MEMEX, <https://www.memexoe.com/measuring-manufacturing-excellence/> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Reid, J. (2011). "We don't Twitter, we Facebook": An alternative pedagogical space that enables critical practices in relation to writing. *English Teaching*, 10, 58-80. <https://www.learntechlib.org/p/51547/>.

- Report, M. R. (2018). Wearable sensors market size, share & trends analysis report by sensor type, by device (smart watch, fitness band, smart glasses, smart fabric), by vertical, by region, and segment forecast, 2018 - 2025. ID: 4538864.
- Rey, J. D. (2019). *How robots are transforming Amazon warehouse jobs — for better and worse*. vox, <https://www.vox.com/recode/2019/12/11/20982652/robots-amazon-warehouse-jobs-automation> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Rinaldo, S., Tapp, S. ve Laverie, D. (2011). Learning by tweeting: Using Twitter as a pedagogical tool. *Journal of Marketing Education - J Market Educ*, 33 (2), 193-203. Doi:10.1177/0273475311410852.
- Rogers, A. (2011). Agent technologies for sensor networks. *The Computer Journal*, 54 (3), 307-308. Doi:10.1093/comjnl/bxq062.
- Ruan, X., Wang, Y., Cheng, N., Niu, X., Chang, Y.-C., Li, L., Du, D. ve Lin, Y. (2020). Emerging applications of additive manufacturing in biosensors and bioanalytical devices. *Advanced Materials Technologies*, 5 (7), 2000171. Doi: 10.1002/admt.202000171.
- Ruggero, S. M., dos Santos, N. A., Sacomano, J. B. ve Terra da Silva, M. (2019). *Investments of the Automotive Sector and the Industry 4.0. Brazilian Case*. Advances in Production Management Systems. Production Management for the Factory of the Future, 650-657. Doi:10.1007/978-3-030-30000-5_79.
- Russo, J., Sukojo, A., Helal, S., Davenport, R. D. ve Mann, W. C. (2017). Smart Wave@ Intelligent meal preparation system to help older people live independently. 2017,
- Saffo, P. (1997). Sensors: The next wave of infotech innovation from 1997 ten-year forecast. <https://www.saffo.com/essays/sensors-the-next-wave-of-infotech-innovation> (Erişim Tarihi: 27/12/2021).
- Şahin, H. (2006). *Türkiye ekonomisi*. Ezgi Kitabevi, Bursa.
- Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A. ve Cevikcan, E. (2018). *A conceptual framework for Industry 4.0*, Editörler: A. Ustundag & E. Cevikcan. Springer International Publishing, Cham, 3-23. Doi:10.1007/978-3-319-57870-5_1.
- Sanz, J. A., Fernandes, A. M., Barrenechea, E., Silva, S., Santos, V., Gonçalves, N., Paternain, D., Jurio, A. ve Melo-Pinto, P. (2016). Lamb muscle discrimination using hyperspectral imaging: Comparison of various machine learning algorithms. *Journal of Food Engineering*, 174, 92-100. Doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.11.024.
- Saxe, A., Nelli, S. ve Summerfield, C. (2021). If deep learning is the answer, what is the question? *Nature Reviews Neuroscience*, 22 (1), 55-67. Doi: 10.1038/s41583-020-00395-8.
- Sayın, A. A. ve Özcan, M. (2019). Lojistik sektöründe bilişim teknolojileri - ecza deposu uygulama örneği. *The Journal of Social Sciences*, (43), 314-322. Doi: 10.29228/SOBIDER.37422.
- Scarfe, A., Flemmer, R., Bakker, H. ve Flemmer, C. (2009). Development of an autonomous kiwifruit picking robot. Conference: 4th International Conference on Autonomous Robots and Agents, ICARA 2009, Şubat 2009, Wellington, Yeni Zelanda., Doi: 10.1109/ICARA.2000.4804023.
- Schoettle, B. ve Sivak, M. (2014). A survey of public opinion about connected vehicles in the U.S., the U.K., and Australia. 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), Kasım 2014, Viyana, Avusturya. DOI: 10.1109/ICCVE.2014.7297637.
- Schwab, K. (2017). *Dördüncü sanayi devrimi*. Optimist, İstanbul.

- SCI. (2020). *DIN and DKE ROADMAP German Standardization Roadmap Industrie 4.0*. DIN & DKE, <https://www.din.de/resource/blob/65354/1bed7e8d800cd4712d7d1786584a7a3a/roadmap-i4-0-e-data.pdf> (Erişim Tarihi: 28/11/2021).
- Sethy, P. K., Routray, B. ve Behera, S. K. (2019). Detection and counting of marigold flower using image processing technique. *Advances in Computer, Communication and Control*, 41, 87-93, Springer, Singapur. Doi: 10.1007/978-981-13-3122-0_9.
- Shafiee, S., Polder, G., Minaei, S., Moghadam-Charkari, N., van Ruth, S. ve Kuś, P. M. (2016). Detection of honey adulteration using hyperspectral imaging. *IFAC-PapersOnLine*, 49 (16), 311-314. Doi:10.1016/j.ifacol.2016.10.057.
- Sharif, M., Khan, M. A., Iqbal, Z., Azam, M. F., Lali, M. I. U. ve Javed, M. Y. (2018). Detection and classification of citrus diseases in agriculture based on optimized weighted segmentation and feature selection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 220-234. Doi:10.1016/j.compag.2018.04.023.
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P. ve Chowdary, V. (2021). Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, 9, 4843-4873. Doi: 10.1109/ACCESS.2020.3048415.
- Shashanka, R. (2018). Effect of sintering temperature on the pitting corrosion of ball milled duplex stainless steel by using linear sweep voltammetry. *Analytical and Bioanalytical Electrochemistry*, 10, 349-361.
- Shashanka, R. ve Kumara Swamy, B. E. (2020). Simultaneous electro-generation and electro-deposition of copper oxide nanoparticles on glassy carbon electrode and its sensor application. *SN Applied Sciences*, 2 (5), 956. Doi:10.1007/s42452-020-2785-1.
- Shi, J., Yuan, D., Hao, S., Wang, H., Luo, N., Liu, J., Zhang, Y., Zhang, W., He, X. ve Chen, Z. (2019). Stimulated Brillouin scattering in combination with visible absorption spectroscopy for authentication of vegetable oils and detection of olive oil adulteration. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 206, 320-327. Doi: 10.1016/j.saa.2018.08.031.
- Shuhaiber, J. H. (2004). Augmented reality in surgery. *Arch Surg*, 139 (2), 170-174. Doi: 10.1001/archsurg.139.2.170.
- Søgaard, H. T. ve Lund, I. (2007). Application accuracy of a machine vision-controlled robotic micro-dosing system. *Biosystems Engineering*, 96 (3), 315-322. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2006.11.009.
- Sohrabi, K., Gao, J., Ailawadhi, V. ve Pottie, G. J. (2000). Sohrabi, K.: Protocols for self-organization of a wireless sensor network. *IEEE Personal Communications*, 7 (5), 16-27.. Doi: 10.1109/98.878532.
- Song, H. (2018). Detection of green apples in natural scenes based on saliency theory and Gaussian curve fitting. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 1,; 192–198. Doi:10.25165/j.ijabe.20181101.2899.
- Sorgner, A., Bode, E. ve Krieger-Boden, C. (2017). *The effects of digitalization on gender equality*. The Kiel Institute for the World Economy, https://www.emsdialogues.org/wp-content/uploads/2017/08/20170707_W20_Studie_v2.5.pdf- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Sowoidnich, K., Schmidt, H., Maiwald, M., Sumpf, B. ve Kronfeldt, H.-D. (2010). Application of Diode-Laser Raman spectroscopy for in situ investigation of meat

- spoilage. *Food and Bioprocess Technology*, 3, 878-882. Doi:10.1007/s11947-010-0360-2.
- Stock, T. ve Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536-541. Doi:10.1016/j.procir.2016.01.129.
- Sun, J., Lu, X., Mao, H., Xiaming, J. ve Wu, X. J. J. o. F. P. E. (2017). A method for rapid identification of rice origin by hyperspectral imaging technology. *Journal of Food Process Engineering*, 40 (1), e12297. Doi:10.1111/jfpe.12297.
- Suresh, P., Daniel, J. V., Parthasarathy, V. ve Aswathy, R. H. (2014). A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. 2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR), Kasım2014, Chennai, Hindistan. Doi: 10.1109/ICSEMR.2014.7043637.
- Suresh, P., Daniel, J. V., Parthasarathy, V., Aswathy, R. J. I. C. o. S. E. ve Research, M. (2014). A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. 1-8.
- Surie, D., Laguionie, O. ve Pederson, T. (2008). Wireless sensor networking of everyday objects in a smart home environment. 2008 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, Aralık 2008, Sidney, NSW, Avustralya. Doi: 10.1109/ISSNIP.2008.4761985.
- Tække, J. ve Paulsen, M. (2017). Digitalisation of education: the theory of the three waves. *The Centre for Internet Research*, 29.
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H. ve Sui, F. J. T. I. J. o. A. M. T. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 3563-3576. Doi: 10.1007/s00170-017-0233-1.
- Tao, F., Wang, Y., Zuo, Y., Yang, H. ve Zhang, M. (2016). Internet of Things in product life-cycle energy management. *Journal of Industrial Information Integration*, 1, 26-39. Doi:10.1016/j.jii.2016.03.001.
- Taştan, E. (2020). Enerji sektöründe yeni trend: Enerji 4.0. <https://www.gesdergisi.com/enerji-sektorunde-yeni-trend-enerji-4-0/> (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Taymaz, E. ve Suiçmez, H. (2006). Türkiye’de verimlilik, büyüme ve kriz. *Iktisat İşletme ve Finans*, 21, 75-80. Doi: 10.3848/iif.2006.240.0964.
- Thoben, K.-D., Wiesner, S. ve Wuest, T. (2017). "Industrie 4.0" and smart manufacturing – a review of research issues and application examples. *International Journal of Automation Technology*, 11 (1), 4-16. Doi: 10.20965/ijat.2017.p0004.
- Tillman, M. (2021). What is Zigbee and why is it important for your smart home? <https://www.pocket-lint.com/smart-home/news/129857-what-is-zigbee-and-why-is-it-important-for-your-smart-home> (Erişim Tarihi: 02/11/2021).
- Toker, A. ve Koksalan, M. (2017). Accenture Türkiye Dijitalleşme Endeksi. Doi:10.13140/RG.2.2.29826.48322.
- TÜBİSAD, (2017). Türkiye’de E-Ticaret 2016 Pazar Büyüklüğü. https://www.tubisad.org.tr/tr/images/pdf/tubisad_2016_e-ticaret%20tahminleme%20ve%20olcumleme%20calismasi.pdf (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- TUBISAD, 2022. Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Endeksi Raporu 2021. <https://www.tubisad.org.tr/tr/images/pdf/tubisad-2021-dde-raporu.pdf> (Erişim Tarihi:17/06/2022).

- Vaezi, M., Seitz, H. ve Yang, S. (2013). A review on 3D micro-additive manufacturing technologies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67 (5), 1721-1754. Doi: 10.1007/s00170-012-4605-2.
- van Kranenburg, R. ve Dodson, S. (2008). *The internet of things: a critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID*. Institute of Network Cultures, 60.
- Vassallo-Barco, M., Vives, L., Tuesta-Monteza, V., Mejia, H. ve Yera Toledo, R. (2017). Automatic detection of nutritional deficiencies in coffee tree leaves through shape and texture descriptors. *Journal of Digital Information Management*, 15 (1), 7-18.
- Vaughan-Nichols, S. J. (2009). Augmented reality: No longer a novelty? *Computer*, 42 (12), 19-22. Doi: 10.1109/MC.2009.380 .
- Verdú, S., Vásquez, F., Grau, R., Ivorra, E., Sánchez, A. J. ve Barat, J. M. (2016). Detection of adulterations with different grains in wheat products based on the hyperspectral image technique: The specific cases of flour and bread. *Food Control*, 62, 373-380. Doi: 10.1016/j.foodcont.2015.11.002.
- Walker, G., Stanton, N. ve Young, M. (2001). Where is computing driving cars? *Int. J. Hum. Comput. Interaction*, 13 (2), 203-229. Doi:10.1207/S15327590IJHC1302_7.
- Wan, P., Toudeshki, A., Tan, H. ve Ehsani, R. (2018). A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 146, 43-50. Doi: 10.1016/j.compag.2018.01.011.
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D. ve Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158-168. Doi: 10.1016/j.comnet.2015.12.017.
- Wang, Z., Walsh, K. B. ve Verma, B. (2017). On-tree mango fruit size estimation using RGB-D images. *Sensors (Basel)*, 17 (12) 2732. Doi:10.3390/s17122738.
- Webb, L., Wilson, M., Hodges, M., Smith, P. ve Zakeri, M. (2012). *Facebook: How college students work it*, Social media: Usage and impact, Lexington Books,3-22.
- WEF ve Company, M. (2019). Fourth Industrial Revolution Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing. https://www3.weforum.org/docs/WEF_4IR_Beacons_of_Technology_and_Innovation_in_Manufacturing_report_2019.pdf- (Erişim Tarihi: 28/12/2021).
- Weis, S. A. (2007). RFID (Radio Frequency Identification): Principles and applications. 2007.
- Wolozny, D., Lake, J. R., Movizzo, P. G., Long, Z. ve Ruder, W. C. (2019). An additive manufacturing approach that enables the field deployment of synthetic biosensors. *Engineering*, 5 (1), 173-180. Doi: 10.1016/j.eng.2018.12.001.
- Wright, N. (2010). Twittering in teacher education: Reflecting on practicum experiences. *Open Learning: The Journal of Open and Distance Learning*, 25 (3), 259-265. Doi: 10.1080/02680513.2010.512102.
- Xu, L., He, W. ve Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10 (4), 2233-2243. Doi: 10.1109/TII.2014.2300753.
- Xu, L. D., Xu, E. L. ve Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56 (8), 2941-2962. Doi: 10.1080/00207543.2018.1444806.

- Xue, J. ve Liming, X. (2010). Autonomous agricultural robot and its row guidance. 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Mart 2010, Çangşa, Çin, Doi: 10.1109/ICMTMA.2010.251.
- Yalçın, M. F. (2018). Küresel rekabette türkiye açısından dönüm noktası: Sanayi 4.0. *Sosyoekonomi*, 26 (36), 225-233. Doi: 10.17233/sosyoekonomi.2018.02.13.
- Yamazaki, T. (2007). The Ubiquitous Home. *International Journal of Smart Home*, 1.
- Yang, C.-C., Chao, K. ve Chen, Y.-R. (2005). Development of multispectral image processing algorithms for identification of wholesome, septicemic, and inflammatory process chickens. *Journal of Food Engineering*, 69 (2), 225-234. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.07.021.
- Yang, C.-C., Chao, K., Chen, Y., Kim, M. S. ve Chan, D. E. (2006). Development of fuzzy logic based differentiation algorithm and fast line-scan imaging system for chicken inspection. *Biosystems Engineering*, 95 (4), 483-496. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2006.08.009.
- Yang, C.-C., Jun, W., Kim, M. S., Chao, K., Kang, S., Chan, D. ve Lefcourt, A. (2010). Classification of fecal contamination on leafy greens by hyperspectral imaging. *Proc SPIE Defense, Security, and Sensing, Nisan 2010, Orlando, Florida, Amerika*, 7676. Doi: 10.1117/12.851069.
- Yang, C.-C., Kim, M. S., Kang, S., Cho, B.-K., Chao, K., Lefcourt, A. ve Chan, D. (2012). Red to far-red multispectral fluorescence image fusion for detection of fecal contamination on apples. *Journal of Food Engineering*, 108, 312–319. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.08.008.
- Yang, P., Stankevicius, D., Marozas, V., Deng, Z., Liu, E., Lukosevicius, A., Dong, F., Xu, L. ve Min, G. (2018). Lifelogging data validation model for internet of things enabled personalized healthcare. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48 (1), 50-64. Doi: 10.1109/TSMC.2016.2586075.
- Yaros, R. (2011). *Social media and education: Do personalization and interactivity facilitate learning?*, Lexington Books.
- Yelis, B. (2021). *Yatay ve Dikey Entegrasyon Nedir? Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu*, <https://www.endustri40.com/yatay-ve-dikey-entegrasyon-nedir/> (Erişim Tarihi: 30/12/2021).
- Yick, J., Mukherjee, B. ve Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52 (12), 2292-2330. Doi: 10.1016/j.comnet.2008.04.002.
- Yin, Y., Zeng, Y., Chen, X. ve Fan, Y. (2016). The internet of things in healthcare: An overview. *Journal of Industrial Information Integration*, 1, 3-13. Doi: 10.1016/j.jii.2016.03.004.
- Young, E. (2012). Progression. The third place. Health care everywhere.
- Yu, R. ve Watterne, T. (2013). Reliable, low power wireless sensor networks for the internet of things: Making wireless sensors as accessible as web servers.
- Zhang, C., Liu, F. ve He, Y. (2018). Identification of coffee bean varieties using hyperspectral imaging: influence of preprocessing methods and pixel-wise spectra analysis. *Scientific Reports*, 8 (1), 2166. Doi: 10.1038/s41598-018-20270-y.
- Zhang, J., Kong, F., Zhai, Z., Wu, J. ve Han, S. (2017). Robust image segmentation method for cotton leaf under natural conditions based on Immune algorithm and PCNN algorithm. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 32 1854011. Doi: 10.1142/S0218001418540113.

- Zhang, Q., Cheng, L. ve Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*, 1 (1), 7-18. Doi: 10.1007/s13174-010-0007-6.
- Zhang, S., Wu, X., You, Z. ve Zhang, L. (2017). Leaf image based cucumber disease recognition using sparse representation classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 134, 135-141. Doi: 10.1016/j.compag.2017.01.014.
- Zhao, H., Guo, B., Wei, Y. ve Zhang, B. (2013). Near infrared reflectance spectroscopy for determination of the geographical origin of wheat. *Food Chem*, 138 (2-3), 1902-1907. Doi: 10.1016/j.foodchem.2012.11.03.
- Zhao, H., Guo, B., Wei, Y. ve Zhang, B. (2014). Effects of grown origin, genotype, harvest year, and their interactions of wheat kernels on near infrared spectral fingerprints for geographical traceability. *Food Chem*, 152, 316-322. Doi: 10.1016/j.foodchem.2013.11.122.
- Zhao, J., Liang, B. ve Chen, Q. (2018). The key technology toward the self-driving car. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 6 (1), 2-20. Doi: 10.1108/IJIUS-08-2017-0008.
- Zheng, X., Li, Y., Wei, W. ve Peng, Y. (2019). Detection of adulteration with duck meat in minced lamb meat by using visible near-infrared hyperspectral imaging. *Meat Sci*, 149, 55-62. Doi: 10.1016/j.meatsci.2018.11.005.
- Zhou, R., Kaneko, S. I., Tanaka, F., Kayamori, M. ve Shimizu, M. (2014). Disease detection of Cercospora Leaf Spot in sugar beet by robust template matching. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108, 58-70. Doi: 10.1016/j.compag.2014.07.004.
- Zhou, X., Yang, Z., Haughey, S. A., Galvin-King, P., Han, L. ve Elliott, C. T. (2015). Classification the geographical origin of corn distillers dried grains with solubles by near infrared reflectance spectroscopy combined with chemometrics: A feasibility study. *Food Chemistry*, 189, 13-18. Doi:10.1016/j.foodchem.2014.09.104.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali Eren ÇOPUR
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 1988
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Milli Piyango Anadolu Lisesi
Lisans : Sabancı Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans : İstanbul Bilgi Üniversitesi İşletme Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : 2011 - 2014 Borusan Holding - Borçelik
2014 - Devam Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.

İletişim (e-posta) : eren.copur@tofas.com.tr

Yayınları :

Özkan-Karabacak, A., Özcan-Sinir, G., Çopur, A. E., & Bayizit, M. (2022). Effect of Osmotic Dehydration Pretreatment on the Drying Characteristics and Quality Properties of Semi-Dried (Intermediate) Kumquat (*Citrus japonica*) Slices by Vacuum Dryer. *Foods*. 11(4): 2139. <https://doi.org/10.3390/foods11142139>

Ünal, T.T., Çopur, A.E., Erdal, B., Vural, H. (2022). Gıda ve Tarım Sektörünün Dijitalleşmesi. 12. Gıda Mühendisliği Öğrenci Kongresi; 21-22 Mart 2022, Bursa, Türkiye. (Sözlü Sunum)