T.C.
İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MEDYA VE İLETİŞİM ÇALIŞMALARI ANABİLİM DALI
MEDYA VE İLETİŞİM ÇALIŞMALARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

KULLANICI KÜLTÜRÜNÜN DÖNÜŞÜMÜNDE 5G VE 6G TEKNOLOJİLERİNİN ROLÜ: NESNELERİN İNTERNETİ ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Asım GÜRLÜK

İSTANBUL, 2025

T.C.
İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MEDYA VE İLETİŞİM ÇALIŞMALARI ANABİLİM DALI
MEDYA VE İLETİŞİM ÇALIŞMALARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

KULLANICI KÜLTÜRÜNÜN DÖNÜŞÜMÜNDE 5G VE 6G TEKNOLOJİLERİNİN ROLÜ: NESNELERİN İNTERNETİ ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Asım GÜRLÜK
23tmil805

Danışman: Prof. Dr. Abdulhamit AVŞAR

İSTANBUL, 2025

ETİK BEYAN SAYFASI

Hazırlamış olduğum tez özgün bir çalışma olup YÖK ve İstanbul Ticaret Üniversitesi Lisansüstü Yönetmeliklerine uygun olarak hazırlanmıştır. Ayrıca, bu çalışmayı yaparken bilimsel etik kurallarına tamamıyla uyduğumu; yararlandığım tüm kaynakları gösterdiğimi ve hiçbir kaynaktan yaptığım ayrıntılı alıntı olmadığını beyan ederim. Bu tezin ihtiva ettiği tüm hususlar şahsi görüşüm olup İstanbul Ticaret Üniversitesi'nin resmi görüşünü yansıtmamaktadır.

Asım GÜRLÜK

ÖNSÖZ

İletişim teknolojilerinde yaşanan her evrimsel sıçrama, yalnızca donanımsal bir ilerleme değil, aynı zamanda toplumların düşünme, etkileşim kurma ve kendini inşa etme biçiminde yapısal dönüşümlere de zemin hazırlamaktadır. Bu bağlamda, 5G ve 6G gibi yeni nesil kablosuz ağ teknolojileri, klasik iletişim paradigmalarının ötesine geçerek, nesnelerin interneti (IoT) ekosistemiyle bütünleşmekte ve birey ile makine arasında kurulan etkileşim modelini köklü biçimde yeniden tanımlamaktadır. Çalışma, iletişim teknolojilerinin teknik altyapısını sadece mühendislik perspektifinde ele almakla yetinmeyip, söz konusu teknolojilerin kullanıcı kültürü, mahremiyet, güvenlik ve sosyokültürel dönüşüm bağlamında nasıl bir değişim yarattığını da çok boyutlu bir yaklaşımla tartışmayı amaçlamaktadır. Dijital ağların sadece veriyi değil, bireyin kamusal ve özel alan sınırlarını da nasıl yeniden ördüğünü; toplumsal ilişkileri, ekonomik yapılaşmaları ve politik tercihlerdeki ağırlık merkezlerini nasıl dönüştürdüğünü disiplinler arası bir çerçevede ele almak, bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır. Kavramsal olarak dijitalleşme, mahremiyet, gözetim, veri güvenliği, etik tasarım ve yapay zekâ gibi alanların kesişiminde konumlanan bu tez; teknik olduğu kadar toplumsal olanı da kavramaya çalışan bir metodolojik tutumla inşa edilmiştir. Literatürdeki teknik odaklı çalışmaları tamamlayıcı nitelikte, sosyoteknik bir yorum üretmeyi ve özellikle Türkiye'de bu alanda oluşmakta olan akademik boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

Bu çalışmanın her aşamasında bilimsel rehberliği ve titiz yönlendirmeleriyle katkı sunan danışmanım Prof. Dr. Abdulhamit AVŞAR'a; değerlendirmeleriyle düşünsel derinliğimi artıran saygıdeğer jüri üyeleri Doç. Dr. Onur AKYOL'a ve Dr. Öğr. Üyesi Tolkun SOYDAN'a; araştırma sürecindeki destekleri için Dr. Damla TAŞKIN'a, Dr. Öğr. Üyesi Berfin GÖKSOY SEVİNÇLİ'ye, Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem YILMAZ ÖZSOY'a, Arş. Gör. Özge YERLİKAYA'ya, Sayın Özcan DİMEZ'e, Sayın Serem AKDAL'a, Sayın Beste Gül OLCAY'a, Sayın Tunay ÖZKAHYA'ya ve Sayın Cemil YALMAN'a şükranlarımı sunarım. Aynı zamanda bu süreçte manevi desteğini her zaman hissettiren değerli aileme ve akademik yolculuğumun görünmeyen kahramanları olan değerli arkadaşlarıma da en içten teşekkürlerimi iletirim.

Bu tezin, teknolojinin sadece bir araç değil, aynı zamanda toplumsal yapının kurucu bir bileşeni olduğunu ortaya koyan çalışmalara katkı sunmasını; iletişim teknolojilerinin geleceğini tartışan akademik literatürde kavramsal bir derinlik ve eleştirel bir perspektif yaratmasını temenni ederim.

İstanbul - 2025

Asım GÜRLÜK

ÖZET

5G ve 6G teknolojilerinin Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamalarına dönüşüm süreci modern dünyanın en önemli konularından biri haline gelmiştir. Teknoloji çağının getirmiş olduğu yenilik ve gelişimler sosyokültürel değişimleri de beraberinde getirmektedir. Çalışmanın amacı, 5G ve 6G teknoloji ağlarının IoT ile uygulamaya dönüştürülmesinin kullanıcı kültürü üzerindeki sosyo-teknolojik dinamikleri disiplinler arası bir perspektifle irdelemek olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, 5G'nin teknik altyapısı ve 6G'nin gelecek vizyonu odak alınarak, IoT ekosisteminin bu platformlarla sağlayacağı teknik avantajları incelenmiştir. Neil Postman'ın "tekno-kültürel diyalektiği" ve Manuel Castells'in "ağ toplumu" kuramları tezin kuramsal çerçevesini oluşturmuş; bu kuramlar yoluyla IoT'nin toplumsal gerçekliği inşa ettiği sorunsalı tartışılmıştır. Araştırma verileri, literatür taraması yöntemiyle elde edilmiştir. Çalışmada Türkiye'deki yerel IoT projeleri ile küresel örneklerin karşılaştırmalı olarak irdelenirken teknolojinin "kullanıcı merkezli" bir kültüre evrilmesinin ortaya çıkardığı dijital eşitsizlik, veri mahremiyeti ve etik sorunlar da eleştirel bir bakışla değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulguları, kullanıcıların teknoloji benimseme süreçlerinde dijital okuryazarlık ve güven algısının kritik rol oynadığını ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra 5G ve 6G platformlarının etkisiyle gelişecek Nesnelerin İnterneti olgusunun önemli bir kültürel dönüşüme de yol açacağı sonucuna ulaşılmış; ulaşılan bulgu ve sonuçlar ışığında da geleceğin iletişim teknolojileri olacak olan 5G/6G destekli IoT uygulamalarının kapsayıcılığı ve sürdürülebilirliği ve kullanıcı kültürü kavramı ile etik bir dijital dönüşüm için, politika yapıcılara, teknoloji geliştiricilere ve topluma yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *5G/6G teknoloji ağları, Nesnelerin İnterneti (IoT), kullanıcı kültürü, dijital dönüşüm, veri mahremiyeti.*

ABSTRACT

The process of transforming 5G and 6G technologies into Internet of Things (IoT) applications has become one of the most important issues of the modern world. Innovations and developments brought by the technological age also bring sociocultural changes. In this context, the aim of this study is to examine, from an interdisciplinary perspective, the socio-technological dynamics of how 5G and 6G technology networks are transformed into applications through IoT and their impact on user culture. In this context, the technical infrastructure of 5G and the future vision of 6G were taken as focal points, and the technical advantages that the IoT ecosystem can provide through these platforms were analyzed. Neil Postman's concept of the "techno-cultural dialectic" and Manuel Castells' theory of the "network society" formed the theoretical framework of the thesis, through which the problem of how IoT constructs social reality was discussed. The research data were obtained through a literature review. The study critically evaluated local IoT projects in Turkey alongside global examples, addressing issues such as digital inequality, data privacy, and ethical concerns arising from the evolution of technology toward a "user-centered" culture. The findings of the study reveal that digital literacy and the perception of trust play a critical role in users' technology adoption processes. Furthermore, it is concluded that the phenomenon of the Internet of Things, which will develop under the influence of 5G and 6G platforms, will also lead to a significant cultural transformation. In light of these findings and conclusions, the study provides policy recommendations for policymakers, technology developers, and society to ensure an inclusive, sustainable, and ethical digital transformation in the context of 5G/6G-enabled IoT applications, which are expected to shape the future of communication technologies.

Keywords: *5G/6G technology networks, Internet of Things (IoT), User Culture, Digital Transformation, Data privacy.*

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

Etik Beyan Sayfası ..... **ii**

Önsöz ..... **iii**

Özet ..... **iv**

Abstract ..... **v**

İçindekiler ..... **vi**

Tablolar Listesi ..... **viii**

Kısaltmalar ..... **ix**

GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM

5G, 6G VE NESNELERİN İNTERNETİ (IOT) TEKNOLOJİLERİNİN TEKNİK ALTYAPISI **6**

1.1. 5G Teknolojisi ve Temel Yetenekleri 6

1.1.1. Ağ Mimarisi, Dilimleme ve Spektrum Yönetimi 7

1.1.2. Temel Sağlayıcı Teknolojiler: Massive MIMO, Beamforming ve DSS 9

1.1.3. 5G'nin IoT İçin Sağladığı Avantajlar (Düşük Gecikme, Yüksek Hız ve Yoğunluk) 12

1.2. 6G Teknolojisinin Vizyonu 16

1.2.1. Teknik Vizyon ve Temel Kavramlar (Terahertz (THz), AI/ML Entegrasyonu) 17

1.2.2. Gelecek Standartlar ve Protokoller (Kuantum İletişim, Enerji Verimliliği) 19

1.3. Nesnelerin İnterneti IoT (Internet of Things) Ekosistemi 20

1.3.1. Kavramsal Çerçeve ve Temel Haberleşme Protokolleri (MQTT, CoAP vb.) 21

1.3.2. 5G ve 6G Mobil İletişim Teknolojilerinin Nesnelerin İnterneti (IoT) İçin Önemi 23

İKİNCİ BÖLÜM

TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜMÜN UYGULAMA ALANLARI SOSYOEKONOMİK BOYUTU

2.1. 5G, 6G ve IoT Uygulama Alanları: Vaka Çalışmaları 25

2.1.1. Akıllı Şehirler ve Endüstriyel IoT (Endüstri 4.0) 26

2.1.2. Akıllı Tarım, Sağlık ve Eğitim Uygulamaları 28

2.2. Teknolojik Dönüşümün Sosyokültürel Boyutu 28

2.2.1. Teorik Perspektifler (McLuhan, Castells, Postman) 29

2.2.2. Dijital Dönüşüm ve Kullanıcı Kültürü (Dijital Vatandaşlık, Tüketim Alışkanlıkları) 30
2.3. Ekonomik ve Yapısal Değerlendirmeler 32
2.3.1. IoT Tabanlı Yeni İş Modelleri ve Ekonomik Değişim 32
2.3.2. Dijital Eşitsizlik, Veri Güvenliği ve Mahremiyet Tartışmaları 34
2.3.3. Küresel ve Ulusal Düzeyde Regülasyonlar ve Politikalar 37
2.4. 5G, 6G ve Nesnelerin İnterneti (IoT): 2020 Sonrası Bölgesel ve Sektörel Teknoloji Uygulamaları 38
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
NESNELERİN İNTERNETİ VE KULLANICI KÜLTÜRÜ 53
3.1. Araştırmanın Amaç ve Önemi 53
3.2. Araştırmanın Sınırlılıkları ve Kapsamı 53
3.3. Araştırmanın Yöntem ve Varsayımları 54
3.4. Literatür ve Özgün Değer 55
3.5. Teknolojilerin Karşılaştırmalı Sentezi 58
3.5.1. Teknik Performans Metriklerinin Değerlendirilmesi (Gecikme, Bant Genişliği, Verimlilik) 58
3.5.2. Sosyoekonomik Neticelerin Bütüncül Değerlendirilmesi 58
3.6. Literatürdeki Fırsatlar ve Zorluklar 60
3.6.1. Teknolojinin Vaatleri ve Potansiyel Engeller 60
3.7. Gelecek Ağlar İçin Politik Öncelikler 62
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 65
KAYNAKÇA 67
EKLER 89

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1. IoT'nin Karşılaştığı Sorunlara 5G'nin Çözümleri..... 15

KISALTMALAR

5G : 5. Nesil Mobil İletişim

5GC : 5G Çekirdek Ağı

6G : 6. Nesil Kablosuz İletişim

6GEN LAB : Turkcell'in 6G Ar-Ge merkezi

AB : Avrupa Birliği

AI : Artificial Intelligence (Yapay Zekâ)

AR : Augmented Reality (Artırılmış Gerçeklik)

BTK : Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu

CIO : Chief Information Officer (Bilgi Teknolojilerinden Sorumlu Üst Düzey Yönetici)

CoAP : Constrained Application Protocol (Kısıtlı Uygulama Protokolü)

DDoS : Distributed Denial of Service (Dağıtık Hizmet Engelleme Saldırısı)

DSS : Dynamic Spectrum Sharing (Dinamik Spektrum Paylaşımı)

E2EE : End-to-End Encryption (Uçtan Uca Şifreleme)

EBA : Eğitim Bilişim Ağı (Türkiye)

EC : European Commission (Avrupa Birliği Komisyonu)

eMBB : Enhanced Mobile Broadband (Gelişmiş Mobil Geniş Bant)

FCC : Federal Communications Commission (Federal İletişim Komisyonu (ABD)

FDD : Frequency Division Duplexing (Frekans Bölmeli Çift Yönlü İletişim)

FL : Federated Learning (Federatif Öğrenme)

GDPR : General Data Protection Regulation (Genel Veri Koruma Tüzüğü)

Hexa-X : Avrupa Birliği 6G Projesi

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)

IIoT : Industrial Internet of Things (Endüstriyel Nesnelerin İnterneti)

IoT : Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)

IP : Internet Protocol

IPv6 : Internet Protocol version 6 (İnternet Protokolü Versiyon 6)

ITU : International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)

KVKK : Kişisel Verileri Koruma Kurumu (Türkiye)

LoRaWAN : Long Range Wide Area Network (Uzun Menzilli Geniş Alan Ağı)

MEC : Multi-access Edge Computing (Çoklu Erişimli Uç Bilişim)

MIMO : Multiple Input Multiple Output (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış)

mMTC : Kitlesel Makine Tipi İletişim.

mmWave : Milimetre Dalga

MQTT : Message Queuing Telemetry Transport (Mesaj Kuyruklama Telemetri Taşıması)

NB-IoT : Narrowband IoT (Dar Bant IoT)

NR : New Radio (Yeni Radyo)

OAM : Orbital Angular Momentum (Orbital Açısal Momentum)

QKD : Quantum Key Distribution (Kuantum Anahtar Dağıtımı)

RAN : Radio Access Network (Radyo Erişim Ağı)

RFID : Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)

RIS : Reconfigurable Intelligent Surfaces (Yeniden Yapılandırılabilir Akıllı Yüzeyler)

SBA : Service-Based Architecture (Servis Tabanlı Mimari)

TDD : Time Division Duplexing (Zaman Bölmeli Çift Yönlü İletişim)

THz : Terahertz

TOGG : Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu

TSN : Time-Sensitive Networking (Zaman Duyarlı Ağ)

TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UE : User Equipment (Kullanıcı Ekipmanı)

ULAK : Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi

UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü.)

URLLC : Ultra-Reliable Low Latency Communication (Ultra Güvenilir Düşük Gecikmeli İletişim)

VR : Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)

Wi-Fi : Wireless Fidelity (Kablosuz Yerel Ağ İletişim Standardı.)

GİRİŞ

İletişim alanındaki her gelişme bireysel ilişkilerde olduğu gibi toplumsal ilişkilerde de önemli dönüşümler meydana getirmiştir. Yazıyla başlayan ve elektronik çağın başlangıcı olarak kabul edilen telgrafın bulunmasına kadar uzanan dönemde iletişim teknolojisindeki her gelişme toplumsal dönüşümlere de yol açmış, kullanıcı kültürlerini derinden etkilemiştir. Son 50 yıl içinde ise radyo, televizyon, uydu teknolojileri, çeşitli bilgisayar türleri, internet teknolojileri, akıllı cep telefonları ve tabletler bilişim teknolojilerinde hem de toplumsal dönüşüm alanlarında önemli gelişmelere neden olmuştur (Şener, 2015).

İnternet teknolojisi, toplumsal alanda sonsuz düzenleme imkanları sunmaktadır. Kullanıcıların, günlük hayatını daha iyi hale getirmeyi, kolaylaştırmayı, performans yükseltilmesini sağlayan en önemli araçlardan biri internetle ilgili teknoloji ve ürünleri olmaktadır. Çünkü internet teknolojisi en geniş anlamı ile kullanıcıları küresel dünyaya bağlayarak interaktif olarak yeni dünya ekonomisinin temeli ve büyük dengeleyici unsuru olmaya hazırlanmaktadır (Naisbitt vd., 2004). Bu konuda yakın geleceğin en önemli araçlarından olan nesnelerin interneti ve kullanımı yeni bir teknoloji çağının açılmasını da sağlayabilecektir.

Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramının ortaya çıkmasıyla birlikte yol açtığı değişiklikler ve gelişmeler birçok alanda olduğu gibi günlük yaşantıyı da değiştirmeye başlamıştır. Gerek ticari ve sınai faaliyetlerdeki yenilikler gerekse akıllı sistemler ve ev teknolojileri bireylerin ve kurumların ilgi odağı haline gelmiştir. Yeni teknolojilere uyum süreci içerisinde özel ve kamu kurumları ile bireyler yatırımlarını ve gelecek projeksiyonlarını şekillendirmeye başlamıştır. Pazarlamadan, reklamcılığa, yatırım kararlarından kentlere kadar birçok alan ve sektör dönüşümünü başlatmak zorunda kalmıştır (Üzmez ve Büyükmeşe, 2021).

Bu ekosistem süreci, beraberinde küresel anlamda kullanılabilen kablosuz ağ altyapısının beşinci nesli olan 5G ve altıncı nesli olan 6G ile yeni bir yolculuğa çıkmaya hazırlanmaktadır. Daha yüksek hız, güçlü güvenilirlik özellikleri, gelişmiş ağ kapasitesi, düşük gecikme süreleri gibi özellikler yeni nesil bir internet çağına doğru insanlığı sürüklemektedir (BTK, 2018). Bu durumun toplumlar üzerinde getireceği olumlu ve olumsuz değişimler literatürde şimdiden tartışma konusu olmaktadır.

5G teknolojisi, sağladığı yüksek veri iletim hızı, ultra düşük gecikme süresi (URLLC) ve massive MIMO (Çoklu anten sistemleriyle kapasite ve hız artışı) gibi teknik avantajlar, IoT cihazlarının daha verimli çalışmasını mümkün kılmaktadır. Örneğin, 5G'nin ağ dilimleme (network slicing) yeteneği, IoT cihazları için farklı kullanım senaryolarına özel sanal ağların

oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu teknik, akıllı şehirlerden endüstriyel IoT uygulamalarına kadar geniş bir kullanım alanı sunmaktadır (Foukas vd., 2017).

Benzer şekilde, 6G'nin vaat ettiği terahertz (THz) bandı ve yapay zekâ destekli ağ yönetimi, IoT'nin mevcut sınırlarını genişletecek bir altyapı sunmayı amaçlamaktadır. Özellikle 6G'nin sağladığı milisaniyenin altında gecikme süresi, yüksek frekans kullanımı ve nano düzeyde sensör entegrasyonu, IoT ekosisteminin daha önce mümkün olmayan senaryolarda uygulanmasını mümkün kılacaktır (Giordani vd., 2020). Bu yenilikler, hiper bağlantılı cihazlar ve nano IoT sistemleri gibi gelecekteki çözümlerin önünü açmaktadır (Nguyen vd., 2021).

Bu teknolojiler, bireylerin mahremiyet algısından kamu politikalarına kadar birçok alanda etkisini hissettirecek niteliktedir. Örneğin, 5G ile gelen ağ dilimleme (network slicing) gibi yenilikçi yaklaşımlar, özellikle akıllı şehirler ve sanayi uygulamalarında kullanım kolaylığı sağlarken; Massive MIMO teknolojisi, cihaz yoğunluğunun yüksek olduğu ortamlarda veri aktarımını önemli ölçüde hızlandırmaktadır (Björnson vd., 2019, s.3). 6G ise yalnızca daha yüksek hızlar sunmakla kalmayıp yapay zekâ (AI) destekli ağ optimizasyonları ve terahertz bandı gibi yeniliklerle IoT cihazlarının işlevselliğini artırmayı hedeflemektedir (Giordani vd., 2020).

Günümüz uluslararası sanayi teknolojisinde güçlü bir etken olan teknoloji ağları, endüstrilerin, fabrika altyapılarının ve üretim sistemlerinin, kişisel aletler ve eşyaların, kentlerin ve akla gelebilecek birçok nesnenin akıllı cihazlarla dönüştüğü bütün eşyaların enerji, pil ve sim kartlarla yeni bir formda sunulduğu bir dünya tasavvurundan bahsedilmektedir. Kültürel yapıda meydana gelebilecek değişim de bu durumdan etkilenebilecek ayrıca günlük yaşantımızdaki akıllı eşyaların mahremiyet, kişisel veri, hack vb. konularda yaratacağı etik ve ahlaki sorunları da beraberinde getirebilecektir (Yıldız, 2018, s.17-18).

6G'nin sağladığı yapay zekâ destekli IoT uygulamaları, işletmelerde daha verimli sistemlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle 6G'nin vaat ettiği nano düzeyde sensörler ve daha düşük enerji tüketimi avantajları, IoT'nin endüstriyel alanda daha yaygın kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Nguyen vd., 2021). Örneğin, akıllı tarım gibi alanlarda toprak nem sensörleri ve hava durumu istasyonlarının geniş ölçekli entegrasyonu sağlanmaktadır. Akıllı sistemlerde 6G'nin konuşlandırması ve uygulamaları açısından sahip olacağı potansiyel etkilerde, teknoloji pazarı her insanın yaşamını etkileyerek, gezegende oynadığı rolünü değiştireceği ve 5G tarafından yapılan küçük hücre kapsama alanı, uydular ve radyo erişim ağı teknolojilerindeki iyileştirmeler daha gelişmiş bir hale dönüşecektir. Ancak 6G'nin biyo-HPC ve kuantum hesaplama teknolojilerine erişebilirliği tıbbi, görüntüleme, akustik, akıllı

makineler, robotik ve bilgi işlemdeki gelişmeler endüstri sektöründe benzeri olmayan etkileri olacağına yönelik pozitif bulgulara ulaşmıştır (Karakuş, 2023).

6G'nin kullanacağı terahertz (THz) bandı ve yeni nesil modülasyon teknikleri, ağ kapasitesini ve veri iletim hızını önemli ölçüde artırmayı hedeflemektedir. Örneğin, terahertz bandında kullanılan orbital angular momentum (OAM) ve puls modülasyonu**,** spektrum verimliliğini artırarak aynı frekansta birden fazla veri akışını mümkün kılmaktadır (Giordani vd., 2020). Ayrıca, yapay zekâ (AI) destekli ağ yönetimi**,** 6G teknolojisinin güvenlik, enerji verimliliği ve otonom sistemlerle entegrasyonunu güçlendirmektedir (Nguyen vd., 2021).

Hücresel ağ tasarımlarına, çoklu erişim tekniklerine ve 1G' den 5G'ye yeni ortaya çıkan teknolojilere dair yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Çoklu erişim tekniklerindeki değişiklik dikkat çekici bulunmuş olup; "1G, AMPS FDMA; 2G, GSM TDMA, 3G, WCDMA/ UMTS CDMA; 4G, LTE ve 5G NR OFDMA" kullanılmıştır. MIMO, 4G'de yeni bir teknoloji olarak kullanılırken, 5G'de mmWave massive MIMO kullanılmaktadır. Yeni çoklu erişim teknikleri ve teknolojileri ile daha fazla kullanıcıya daha hızlı hizmet vermenin mümkün hale geldiğini ve en önemlisi 6G veya yeni nesil kablosuz iletişim teknolojisi için, THz bant iletişimi mm Wave'in yerini alabilerek massive MIMO, UM MIMO'ya yükseltilebileceği ortaya çıkmıştır (Mustari vd., 2023).

Benzer şekilde 6G'nin nano IoT cihazlarla entegrasyonu**,** IoT ekosistemine yeni bir ölçek kazandırmaktadır. Nano sensörler sayesinde, tarım, sağlık ve çevre izleme gibi alanlarda daha hassas ve verimli uygulamalar hayata geçirilmektedir (Nguyen vd., 2021). 2024 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı'nda bilgiler açıklanmıştır; "5G ve ötesi teknolojiler başta olmak üzere yerli elektronik haberleşme şebeke ve altyapı bileşenlerinin AR-GE ve üretim faaliyetleri desteklenecektir (2023). Bu açıklama 5G, 6G, haberleşme altyapı yatırımları ve donanım imalatlarının üretimi açısından çok değerli olmaktadır. 5G ve 6G ile ilgili gelişmeler Castells'e (1989) göre "Ağa dayalı bir toplumsal yapı, dengesini bozmaksızın yeniliklere gidebilecek, son derece dinamik, açık bir sistemdir. Ağlar halindeki somut zemin, baskın toplumsal süreçlere damgasını vurur, böylece toplumsal yapının kendisini şekillendirir". Bu bulgu, tez çalışmamızın 5G ve 6G teknolojisinin IoT ilişkisinde kullanımına dair gelecek projeksiyonu için önemli bir tarihsel gösterge sayılmaktadır.

Dijitalleşmenin beraberinde getirdiği yeni hegemonik ilişkilere ve bu ilişkiler üzerine yerleşmiş mahremiyet, rıza, gözetim, demokratik tercih gibi kavramlarda oluşan etik sorunlara ışık tutulmuştur. Bunun için, CA olayı, kişisel verilerin suistimalinin boyutlarını ortaya koyarken kişisel verilerin hem değer olarak önemini hem de korunmasının ne kadar önemli olduğu dile

getirilmiştir. Bu olayın yalnızca siyasetin değil teknolojik imkanların sınırlarını da tartışmaya açmış ve büyük veri ile kitlelerin kişisel verilerinin işlenmesinin aynı zamanda demokrasi açısından birçok ülkenin geleceğine nasıl etki ettiğini gösteren en önemli örneklerden biri olduğu belirtilmiştir (Acar ve Gürpınar, 2022).

6G'nin güvenlik ve gizlilik boyutu arasında doğrudan ilişki görülmektedir. Örneğin, blockchain tabanlı güvenlik protokolleri 6G ağlarının desteklediği, IoT cihazlarının veri güvenliğini artırmak için kullanılmaktadır. Ancak, genişleyen IoT ağı ile siber saldırı yüzeyinin artması, güvenlik açıklarını daha kritik hale getirmektedir (Alhammadi vd., 2024). Teknolojik gelişmelerle paralel ilerleyen iletişim teknolojilerindeki gelişim, literatürde yer alan Schumpeter'in Yaratıcı Yıkım kavramı bağlamında incelendiğinde kil tablet teknolojisinden matbaaya; matbaadan telgrafa ve günümüz yeni medya teknolojilerine kadar her bir teknolojik gelişmenin nasıl bir yaratıcı yıkım ortaya koyulduğu belirlenmiştir. Günümüz teknolojilerinin tüm dünyadaki statik yapıyı dinamik yapıya evriltebileceğini ve yaratıcı yıkımın var olabilmesi için doğru politikaların yürütülmesi gerektiğini belirtmiştir (Kadıköy, 2020)

6G, 7G ve ötesi teknolojilerinin iletişim alanındaki gelişimini ele alan 1. Nesil ve 5. Nesil ve sonrasındaki gelişmelerin iletişim teknolojileri alanına etkilerinin önemi görülmüştür. Özellikle 6G'nin küresel kapsama alanı için 5G'yi uydu ağlarıyla entegre edileceğine yönelik çalışmaların artışı ile 7G'nin ise iletişim ağının uzay dolaşımıyla ilişkili olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu yeni teknolojilerin entegrasyonu için önemli koşulun ise yeni nesil iletişim olacağı belirtilmektedir (Öztürk ve Çavdar, 2021).

Literatürde, 5G ve 6G teknolojilerinin sunduğu teknik avantajlar (örn. terahertz bandı, massive MIMO, ultra düşük gecikme vb.) sıklıkla tartışılmakta; özellikle IoT sistemleriyle entegrasyonları üzerine birçok çalışma yapılmaktadır (Foukas vd., 2017; Giordani vd., 2020; Nguyen vd., 2021). Bunun yanında, Castells (1989) gibi düşünürlerin ağa dayalı toplumsal yapı yorumları, bu teknolojilerin sosyal sistemlere etkisini teorik olarak da temellendirmektedir. Ancak, mevcut çalışmaların büyük bölümü teknik detaylara veya altyapısal yatırımlara odaklanırken, bu teknolojilerin örgütsel yapıların dönüşümüne, iş süreçlerine ve işletme performansı üzerindeki etkilerine dair daha sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır. Ayrıca, etik sorunlar, güvenlik zafiyetleri ve mahremiyet gibi sosyal boyutların sektörel düzeyde nasıl ele alındığı da çoğunlukla genel ifadelerle geçiştirilmiştir (Acar ve Gürpınar, 2022; Alhammadi vd., 2024).

Bu tez çalışmasının amacı, 5G ve 6G teknoloji ağlarının Nesnelerin İnterneti (IoT) ile uygulamaya dönüştürülmesinin kullanıcı kültürü üzerindeki sosyo-teknolojik dinamikleri

disiplinler arası bir perspektifle irdelemektir. Örgütsel bağlamda IoT, yapay zekâ ve hiper-bağlantılı ağların kullanımı, verimlilik, karar alma kalitesi, maliyet düşüşü ve rekabet avantajı gibi alanlara olan yansımaları, örnek olaylar ve ampirik verilerle desteklenerek değerlendirilecektir. Aynı zamanda bu teknolojilerin neden olduğu mahremiyet ve güvenlik riskleri, etik boyutları ve sosyal adaptasyon süreçleri de incelenerek hem teknik hem de sosyal bilimler literatüründe bütüncül bir bakış açısı geliştirilecektir. Yeni nesil dijital iletişim altyapıları olan 5G ve 6G teknolojileri, yalnızca hız ve kapasite artışı sunmakla kalmayıp; aynı zamanda toplumsal ve sektörel düzeyde köklü bir dijital dönüşümün öncüsü olacaktır. Bahsedilen altyapılar sayesinde, IoT uygulamaları sağlık, tarım, eğitim, ulaşım ve ev yaşamı gibi günlük hayatın her alanına entegre edilebilecek; bu da kullanıcı davranışlarını, yaşam tarzlarını ve iş yapış biçimlerini kökten dönüştürecektir. Yapay zekâ destekli bu dönüşüm, bireylerin ve kurumların ihtiyaç duydukları bilgi ve hizmetlere erişim şeklini yeniden tanımlayarak; üretkenliği artıracak, zaman yönetimini optimize edecek ve yaşam kalitesini yükseltecek bir dijital ekosistemi mümkün kılacaktır. Bu kapsamda, çalışmanın amacı, 5G ve 6G destekli IoT uygulamaları üzerinden bireysel ve toplumsal yaşamın dijitalleşmesini incelemek ve bu teknolojilerin getireceği yeni yaşam kültürünü kavramsallaştırmaktır. Bu bağlamda yapılan araştırmalar, dijitalleşmenin yalnızca teknik bir dönüşüm değil, aynı zamanda sosyo-kültürel bir yeniden yapılanma olduğunu göstermekte ve literatürdeki önemli bir boşluğu doldurma potansiyeli taşımaktadır.

Tez üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde 5G, 6G ve IoT teknolojilerinin teknik altyapısından detaylıca bahsedilmiştir. Kavramlar açıklanmış, geçmiş ve gelecek standartlardan bahsedilerek geniş bir perspektif ile teknolojiler hakkında bilgiler derlenmiştir. İkinci bölümde bu teknolojilerin dönüşüm aşamaları ve bu aşamalardaki uygulama alanlarına değinilmiştir. Akıllı tarım, sağlık, eğitim alanlarındaki uygulamalardan bahsedilmiştir. Dönüşümün sosyokültürel boyutu ele alınarak bu çerçevede kullanıcı kültürü ile ilişkisi incelenmiştir. 5G, 6G ve IoT teknolojilerinin bölgesel ve sektörel uygulama alanlarına yönelik örnekler derlenmiştir. Üçüncü bölümde araştırma amaç, önem ve yöntemi hakkında bilgiler ile başlamaktadır. Bu kısımda 5G, 6G ve IoT teknolojileri iler ilgili bilgiler harmanlanarak bu teknolojilerin karşılaştırılmalı sentezi, teknolojik boyuttaki çözümlemelere sosyoekonomik açıdan ışık tutulmuştur. Teknolojinin toplumsal ve kültürel dinamiklerinin takibi, regülasyon ve politika geliştirme açısından kritik olup, çok disiplinli araştırmalara yön verecek potansiyele sahiptir.

BİRİNCİ BÖLÜM

5G, 6G VE NESNELERİN İNTERNETİ (IOT) TEKNOLOJİLERİNİN TEKNİK ALTYAPISI

1.1. 5G Teknolojisi ve Temel Yetenekleri

5G teknolojisi, kablosuz iletişimi daha hızlı, daha güvenilir ve daha verimli hale getirmek için son nesil bir mobil iletişim teknolojisi olarak tasarlanmıştır (Turer ve Yılmaz, 2022). Çünkü 5G, önceki nesil kablosuz teknolojilerden ayrı olarak daha yüksek frekansta çalışmaktadır. Genellikle mmWave (milimetre dalga) olarak adlandırılan bu frekansta iletim, daha geniş bant genişliği sağlamaktadır. Bu, daha fazla veri taşıma kapasitesi ve daha hızlı hızlar anlamına gelmektedir. 5G, Multiple Input Multiple Output (MIMO) adı verilen bir teknolojiyi kullanarak çoklu antenlerle çalışmaktadır. Bu, aynı anda birden fazla sinyal gönderip alarak daha fazla veri akışını mümkün kılmaktadır. MIMO, daha güçlü ve daha istikrarlı bağlantılar sağlamaktadır.

5G, düşük gecikme süresi (Low Latency) sunarak iletişimdeki zaman gecikmesini en aza indirmektedir. Bu, özellikle interaktif uygulamalar, oyunlar ve sanal gerçeklik açısından önem taşımaktadır. Düşük gecikme süresi, daha hızlı yanıt süreleri sağlamaktadır. 5G, büyük miktarda cihazın birbirine bağlanmasını destekleyen IoT uygulamaları için optimize edilmiştir. Akıllı ev cihazları, endüstriyel sensörler ve daha birçok cihaz 5G ağlarına bağlanmaktadır, verileri aktarmakta ve kontrol etmektedir. 5G, daha yüksek frekansta çalıştığı için daha fazla hücreye ihtiyaç duymaktadır. Bu, kentlerde ve yoğun bölgelerde daha fazla hücre kulesinin kurulması gerekmektedir. Bu yüksek yoğunluklu hücresel altyapı, daha güçlü ve daha hızlı bağlantıları mümkün kılmaktadır. Yazılım tanımlı ağlar (SDN), 5G ağları ve ağ fonksiyonlarının sanallaştırılması (NFV) gibi yeni yönetim teknolojilerini kullanmaktadır. Bu, ağın daha esnek ve ölçeklenebilir olmasını sağlamaktadır. İhtiyaca göre kaynaklar tahsis edilmekte ve hızla yeni hizmetler başlatılmaktadır.

5G'nin başarısı, ağ dilimleme (network slicing), hüzmeleme (beamforming) ve çoklu anten sistemleriyle kapasite ve hız artışı (massive MIMO) gibi yenilikçi teknik altyapılara dayanmaktadır. Örneğin, beamforming, radyo sinyallerini belirli bir yöne odaklayarak daha verimli veri iletimi sağlamaktadır. Massive MIMO ise, aynı anda çok sayıda cihazın bağlanmasını destekleyerek IoT uygulamalarında daha geniş ölçekli cihaz ağlarını mümkün kılmaktadır (Björnson vd., 2019). 5G, farklı frekans bantlarında çalışması ile çeşitli senaryoları desteklemektedir. Örneğin, düşük bantlar kırsal alanlar için geniş kapsama sağlarken, milimetre

dalga (mmWave) gibi yüksek bantlar, şehir içi kalabalık bölgelerde düşük gecikme ve yüksek hız avantajı sunmaktadır. Dinamik spektrum paylaşımı (DSS) ile, 5G ağları mevcut LTE altyapısıyla uyum içinde çalışmakta ve geçiş süreçlerini optimize etmektedir (Jiang vd., 2021).

5G'nin gigabit seviyesindeki veri aktarım hızları, ultra düşük gecikme süreleri (1 ms'nin altında) ve büyük makine tipi iletişim (mMTC) özellikleri, IoT uygulamalarını desteklemek için yeterli olmaktadır. Örneğin, akıllı şehirlerde trafik yönetimi sensörleri veya tarımsal IoT uygulamaları, 5G sayesinde daha verimli ve kesinti yaşamadan çalışmaktadır (Foukas vd., 2017, s.2-6).

5G teknolojisinin temel yeteneklerinden olan ağ mimarisi, dilimleme ve spektrum yönetimi; sistemin esnekliğini ve verimliliğini artırarak yeni nesil iletişim altyapısının temelini oluşturmaktadır. Tez kapsamında söz konusu kavramlar ayrıntılı şekilde ele alınmış ve çeşitli yönleriyle değerlendirilmiştir.

1.1.1. Ağ Mimarisi, Dilimleme ve Spektrum Yönetimi

5G ağ mimarisi, geleneksel hücresel ağ yapısından farklı olarak hizmet tabanlı bir mimariye (Service-Based Architecture, SBA) geçiş yapmıştır. Bu yeni yapı, ağ esnekliğini artırmak ve çeşitli uygulama gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmıştır (Popovski vd., 2018). 5G mimarisi, üç temel bileşenden oluşur: Kullanıcı Ekipmanı (User Equipment - UE), Radyo Erişim Ağı (Radio Access Network- RAN) ve 5G Çekirdek Ağı (5G Core - 5GC) olmaktadır.

Kullanıcı Ekipmanı (User Equipment-UE), son kullanıcıların ağ hizmetlerine erişmesini sağlayan temel eleman olmaktadır. Bu kategori, akıllı telefonlar, tabletler, IoT cihazları, endüstriyel makineler ve otonom araçlar gibi çeşitli cihazları kapsamaktadır. UE'ler, radyo erişim ağı üzerinden çekirdek ağa bağlanarak kimlik doğrulama, veri yönlendirme ve oturum yönetimi gibi adımları gerçekleştirmektedir. Özellikle 5G teknolojisinin sunduğu düşük güç tüketimi özelliği, IoT uygulamalarında cihazların batarya ömrünü uzatmaktadır (Al Homssi vd., 2018). Yeni nesil modülasyon teknikleri ve uyku modu protokolleri, sınırlı batarya kapasitesine sahip cihazlarda enerji verimliliğini artırmakta, böylece kullanım süresini optimize etmektedir (Rappaport vd., 2015).

5G'nin radyo erişim ağı (RAN) bileşeni, geleneksel baz istasyonlarının gelişmiş versiyonu olan gNodeB (gNB) cihazlarını içermektedir. Bu cihazlar, geniş hücresel kapsama alanları ile yüksek veri iletim hızlarını desteklemektedir. RAN, sadece kullanıcıların veri bağlantısını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda beamforming ve Massive MIMO gibi gelişmiş

teknolojiler yardımıyla spektral verimliliği en uygun hale getirmektedir (Björnson vd., 2019). Beamforming, özellikle yüksek frekanslı mmWave bantlarında sinyal gücünü kuvvetlendirerek kanal kalitesini iyileştirmektedir. Bu teknolojiler sayesinde, kullanıcı başına düşen kapasite artırılırken sinyal-gürültü oranı (SNR) da önemli ölçüde yükseltilmektedir (Tse ve Viswanath, 2005). gNodeB'lerin Massive MIMO ile aynı anda birden fazla kullanıcıya hizmet verebilmesi, ağ performansını ve kapsama kalitesini ciddi şekilde iyileştirmektedir.

5G çekirdek ağı (5GC), kontrol düzlemi ve veri düzlemi arasında ayrım yaparak daha esnek ve ölçeklenebilir bir mimari sunmaktadır. Servis Tabanlı Mimari (SBA), mikro hizmetlere dayalı yapısı ile farklı ağ işlevlerinin dinamik olarak etkinleştirilmesine imkân tanımaktadır. 5GC'nin en önemli özelliklerinden biri olan ağ dilimleme (network slicing), sanallaştırılmış kaynakları kullanarak aynı fiziksel altyapı üzerinde farklı kullanıcı ihtiyaçlarına özel mantıksal ağlar oluşturulmasına olanak sağlamıştır (Afolabi vd., 2018, s.24). Bu özellik, düşük gecikme süresi veya yüksek güvenilirlik gibi farklı gereksinimlere sahip uygulamalar için özel ağ yapılandırmalarının oluşturulmasına imkân vermiştir. Ayrıca, kontrol ve veri düzlemi ayrımı sayesinde ağ kaynakları daha verimli şekilde yönetilmiş ve her dilim farklı hizmet türlerine özel olarak uygun hale getirilmiştir (Holma vd., 2020).

5G'nin en yenilikçi özelliklerinden biri ağ dilimleme olmuştur. Tek bir fiziksel ağ altyapısı üzerinde, farklı kullanım senaryolarına uygun sanal ağların oluşturulmasına imkân vermektedir. Örneğin, düşük gecikme gerektiren otonom araçlar için bir dilim oluşturulabilirken, IoT cihazlarının düşük veri aktarımı gereksinimlerini karşılayan başka bir dilim tasarlanmaktadır. Bu yaklaşım hem ağ verimliliğini artırır hem de özelleştirilmiş hizmet sunumunu mümkün kılmaktadır (Foukas vd., 2017, s.24-26). Ağ dilimleme, IoT cihazlarının düşük güç tüketimi ve aralıklı veri aktarımı gibi gereksinimlerini karşılamak için özel bir dilim oluşturabilmektedir. Fiziksel kaynak katmanı, bu dilimlere ayrılmış spektrum ve hesaplama kaynaklarını izole ederek uç cihazlarda performans garantisi sağlamaktadır (Nekovee vd., 2020). Ağ dilimleme mekanizması, üç temel katman üzerinde çalışmaktadır:

- Hizmet Katmanı (Service Layer): Kullanıcı gereksinimlerini belirler ve ağ dilimleme politikalarını oluşturur.
- Ağ Yönetim Katmanı (Network Management Layer): Dilimlerin oluşturulması, yapılandırılması ve izlenmesini sağlamaktadır.
- Fiziksel Kaynak Katmanı (Physical Resource Layer): Frekans spektrumu, baz istasyonları ve çekirdek ağ kaynaklarını barındırır.

- Spektrum yönetimi, 5G ağlarının başarısında önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle sınırlı frekans kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için regülasyon kurumları ve operatörler arasında etkili bir iş birliği gerekmektedir.

5G teknolojisinin temel yapı taşlarından biri olan spektrum yönetimi, farklı frekans bantlarının avantajlarını ve sınırlılıklarını gözeterek etkin bir ağ performansı sağlamayı amaçlamaktadır. Düşük bant frekansları (Sub-1 GHz), özellikle kırsal alanlarda geniş kapsama sağlayarak baz istasyonu maliyetlerini azaltırken, 700 MHz gibi bantlar sayesinde 4G ve 5G'nin birlikte kullanımı mümkün olmaktadır (Dahlman vd., 2020, s.7). Orta bantlar (1-6 GHz), 3.5 GHz başta olmak üzere, kapsama ve hız arasında bir denge sunmakta, bu sayede IoT, mobil geniş bant ve video akışı gibi hizmetlerde yaygın olarak tercih edilmektedir (Ghosh vd., 2010). Yüksek bantlarda yer alan mmWave teknolojisi ise fazla yüksek hızlar ve düşük gecikme süreleri sunsa bile kısa menzili ve fiziksel engellere duyarlılığıyla sınırlanmaktadır. Bu nedenle, yoğun kentsel alanlar ve endüstriyel uygulamalar için daha uygun olmaktadır (Rappaport vd., 2019).

Spektrumun lisanslı ve lisanssız kullanımı da 5G altyapısının esnekliğini artırmaktadır. Lisanslı bantlar, operatörlere yüksek güvenlik ve düşük girişim ile hizmet sunma imkânı tanırken; lisanssız bantlar özellikle düşük maliyetli IoT uygulamaları için tercih edilmektedir (Senic vd., 2022, s.1). Bununla birlikte, Dinamik Spektrum Paylaşımı (DSS) teknolojisi, aynı frekans bandının hem 4G hem de 5G tarafından eş zamanlı kullanılmasına olanak tanımakta, bu da mevcut altyapının verimli kullanımını teşvik etmekte ve yeni nesil ağa geçiş sürecini hızlandırmaktadır (Jiang vd., 2021).

5G ağlarının spektrumu daha verimli kullanılabilmesi için gelişmiş girişim yönetimi teknikleri devreye girmektedir. Özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde, beamforming ve Massive MIMO gibi teknolojiler, sinyalleri yönlendirerek girişimi en aza indirmekte ve bağlantı kalitesini artırmaktadır. Ayrıca spektrum paylaşımı sayesinde aynı anda daha fazla cihazın ağa bağlanabilmesi mümkün hale gelmektedir (Björnson vd., 2019). Bu yönleriyle spektrum yönetimi, 5G teknolojisinin performans, kapsama ve ölçeklenebilirlik vaatlerini gerçekleştirmede kritik bir rol oynamaktadır.

1.1.2. Temel Sağlayıcı Teknolojiler: Massive MIMO, Beamforming ve DSS

Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output), aynı zamanda birden çok kullanıcıya hizmet vermek amacıyla yüzlerce anten elemanını bir arada kullanmaktadır. Bu teknoloji ise 5G'nin spektrum verimliliğini artıran en önemli temel özelliğinden biri olmuştur. Massive MIMO, aynı frekans kaynaklarını birden fazla kullanıcıya tahsis ederek, ağ kapasitesini önemli ölçüde

arttırarak spektrum verimliliği sağlamaktadır. Kullanıcılar arasında fiziksel olarak ayrılmış kanallar oluşturarak girişim azaltılmaktadır. Massive MIMO ile, kullanıcı konumuna ve çevresel koşullara göre sinyal gücünü dinamik olarak optimize edilmektedir (Björnson vd., 2019).

Massive MIMO teknolojisi, büyük IoT cihaz ağlarını desteklemek için olması gereken bir teknoloji olmuştur. Özellikle, Akıllı tarım sistemlerinde, toprak nem sensörleri ve hava durumu istasyonları gibi binlerce IoT cihazı, Massive MIMO ile tek bir baz istasyonundan yönetilmektedir. Anten çeşitliliği, gürültüye karşı direnci artırarak kırsal alanlarda bile kararlı veri akışı sağlamaktadır (Larsson ve Popovski, 2018). Massive MIMO, akıllı tarımda toprak nem sensörleri gibi binlerce düşük güçlü IoT cihazının tek bir baz istasyonu üzerinden yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Anten dizilerinin sağladığı uzaysal çeşitlilik, sinyal-gürültü oranını (SNR) iyileştirerek veri kaybını en aza indirmektedir (Lu vd., 2021, s.7-8).

Yeni iletişim teknolojilerinin nasıl bir dönüşüme yol açtığını anlayabilmek için temel kavramların açıklanmasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Bu amaçla 5G ve 6G teknolojileriyle birlikte daha da yaygınlaşması beklenen temel kavramlar ve nitelikleri aşağıda açıklanmıştır:

Beamforming (Hüzmeleme): 5G teknolojisi, veri hızı, bağlantı yoğunluğu ve düşük gecikme hedeflerine ulaşmak için yenilikçi teknik zeminlere dayanmaktadır. Beamforming tekniği, kablosuz iletişimde radyo sinyallerini belirli bir yöne odaklamak için kullanılmaktadır. Geleneksel yayın yöntemlerinin aksine, beamforming teknolojisi sinyal enerjisini dar bir demet haline getirerek iletir. Bu sayede, sinyal gücü artırılırken girişim ve enerji kaybı minimize edilmektedir (Zhang vd., 2021). Beamforming, birden çok anten elemanından yayılan sinyallerin fazını ve genliğini ayarlayarak sinyalleri istenen hedefte birleştirmektedir. Beamforming teknolojisi, 5G'de mmWave gibi yüksek frekanslı bantlarda sinyal zayıflamasını dengeli hale getirmek için önem taşımaktadır. Örneğin, Massive MIMO sistemlerinde yüzlerce antenin faz ve genlik ayarları, kullanıcıya özel darbe göstererek hem kapasiteyi hem de enerji verimliliğini artırmaktadır (Björnson vd., 2017, s.2).

Analoeamforming: Tek bir RF zinciri ile sinyal yönlendirmesi yapılmaktadır. Düşük maliyetli IoT cihazları için uygun olmaktadır. Analog beamforming, IoT cihazlarında karmaşık dijital işleme gerek duymadan sinyal yönlendirmesi yapmaktadır. Örneğin, pasif faz kaydırıcılar kullanılarak düşük güç tüketimli bir anten dizisi tasarlanabilir ve bu, uzun batarya ömrü gerektiren endüstriyel sensörler için olması gereken olacaktır (Rebeiz vd., 2020).

Hibrit Beag Beamforming: Analog ve dijital yöntemlerin yararlarını birleştirmektedir. Özellikle mmWave frekans bantlarında enerji verimliliği sağlamaktadır (Zhang vd., 2021). 5G'de hibrit beamforming, mmWave'nin yüksek yol kaybı sorununu çözmek için rolü önem göstermektedir. Örneğin, analog katmanda geniş darbeler oluşturulurken, dijital katmanda kullanıcıya özel ince ayarlar yapılarak hem enerji tüketimi düşürülür hem de çoklu erişim kapasitesi artırılmaktadır (Heath ve Lozano, 2018).

Dijital Beammforming: Her anten elemanı için ayrı bir RF zinciri kullanılarak daha hassas sinyal kontrolü sağlamaktadır. Bu yöntem, Massive MIMO sistemlerinde yaygındır. 5G baz istasyonları (gNodeB), dijital beamforming ile her kullanıcıya özel darbe oluşturarak aynı frekans bandında eşzamanlı hizmet sağlamaktadır. Bu yaklaşım, Massive MIMO'nun anten yoğunluğunu veri kapasitesine dönüştürmek için fazla önem göstermektedir (Dahlman vd., 2020, s.4).

Beamforming, IoT cihazlarının düşük enerji tüketimiyle ağ bağlantısını sürdürmesini kolaylaştırmaktadır. Örneğin, akıllı şehirlerde IoT tabanlı sensörlerin veri aktarımı, beamforming ile daha verimli hale getirilmektedir. Ayrıca, endüstriyel IoT (IIoT) uygulamalarında yüksek hızlı ve güvenilir bağlantılar sağlamaktadır. Endüstriyel IoT sistemlerinde beamforming, makine-ötesi iletişimde gecikmeyi azaltmaktadırken enerji tüketimini düşürmüştür. Örneğin, akıllı fabrikalarda sensör ağları, odaklanmış radyo darbeleri sayesinde kesintisiz ve düşük güçlü veri aktarımı sağlamaktadır (Molisch vd., 2017, s.4-6).

Dinamik Spektrum Paylaşımı (Dynamic Spectrum Sharing, DSS): 4G ve 5G cihazlarının aynı frekans bandını eş zamanlı olarak kullanmasına olanak tanıyan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Bu teknoloji, operatörlerin mevcut spektrum kaynaklarını optimize ederek 4G'den 5G'ye geçiş sürecini kolaylaştırmaktadır (Jiang vd., 2021). DSS, Time-Division Duplexing (TDD) ve Frequency-Division Duplexing (FDD) yöntemlerini kullanarak spektrumu dinamik olarak bölümlere ayırmaktadır. Bu bölünme, spektrumun o anki kullanıcı ihtiyaçlarına göre yeniden tahsis edilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, operatörlerin, mevcut LTE altyapısını yeniden kullanması sağlanılmaktadır. Yeni spektrum bantlarına olan bağımlılığı düşürerek temel maliyetleri düşürülmektedir. IoT cihazlarının spektrum kaynaklarına erişimi optimize edilmektedir ve bağlantı yoğunluğu yönetimi kolaylaştırılmaktadır (Ghosh vd., 2010, s.12). Dinamik Spektrum Paylaşımı (DSS), IoT tabanlı sistemlerde, özellikle yoğun cihaz kullanımı olan akıllı lojistik gibi uygulama alanlarında, spektrum kaynaklarının verimli kullanılmasına olanak tanımaktadır. DSS teknolojisi, akıllı depolarda IoT sensörleri ve otomatik yönlendirmeli araçların (AGV) girişim yaşamadan aynı

frekans bandını kullanmasını sağlayarak, kesintisiz iletişim ve düşük gecikme sürelerini garanti eder (Poor ve Alouini, 2022). 5G teknolojisinin sunduğu esnek spektrum yönetimi ise IoT'nin farklı senaryolarına uyum sağlamaktadır. Örneğin, endüstriyel uygulamalarda yüksek güvenilirlikli dilimlerle gerçek zamanlı makine kontrolü sağlanırken, çevresel sensörler gibi düşük veri gereksinimli sistemler için ayrı dilimler tahsis edilmektedir (Patwary vd., 2021). Akıllı şehirlerde beamforming ve DSS, trafik yönetimi ve çevresel izleme gibi sistemlerin bağlantı sürekliliğini sağlamakta; beamforming, sensörlerin hedef odaklı iletişimini optimize ederken, DSS spektrumun trafik ışıkları ve acil servisler ile paylaşımını sağlamaktadır (Dustdar vd., 2022).

Endüstriyel IoT (IIoT) ve akıllı tarım gibi sektörlerde ise Massive MIMO ve beamforming gibi teknolojilerle DSS birlikte kullanılarak bağlantı kalitesi artırılmakta ve enerji verimliliği sağlanmaktadır. Üretim hatlarında robotların senkronize çalışmasını mümkün kılan Massive MIMO teknolojisi, DSS ile birleştiğinde düşük gecikmeli ve yüksek yoğunluklu iletişim sağlamaktadır (Soldani ve Fantini, 2023). Akıllı tarım uygulamalarında, 700 MHz gibi düşük bant frekanslarıyla geniş alan kapsaması sağlanırken, beamforming sayesinde sensörlerin enerji tüketimi azaltılmakta, Massive MIMO ise binlerce sensörün eşzamanlı veri aktarımını mümkün kılmaktadır (Imran vd., 2022, s.3). Bu teknolojiler, tarımsal verimliliği artırmakta, cihazların pil ömrünü uzatarak bakım maliyetlerini düşürmekte ve gerçek zamanlı karar destek sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır (Imran vd., 2022, s.12).

1.1.3. 5G'nin IoT İçin Sağladığı Avantajlar (Düşük Gecikme, Yüksek Hız ve Yoğunluk)

5G teknolojisi, Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamaları için ideal bir altyapı sağlayarak hız, gecikme ve bağlantı yoğunluğu gibi teknik avantajlar sunmaktadır. 5G'nin hız, gecikme ve bağlantı yoğunluğu avantajları, IoT ekosistemini dikey sektörlere (sağlık, tarım, lojistik) özel çözümlerle dönüştürülmektedir. Örneğin, akıllı hastanelerde yüksek çözünürlüklü medikal görüntüleme (hız), otonom araçlarda anlık karar verme (gecikme) ve akıllı tarımda geniş sensör ağları (bağlantı yoğunluğu) bu teknolojinin somut çıktıları olduğu görülmektedir (Yu vd., 2023, s.8-12).

5G'nin sağladığı yüksek hız (10 Gbps), akıllı şehirlerdeki 8K güvenlik kameralarının gerçek zamanlı veri işlemesini mümkün kılmaktadır (You vd., 2021). Düşük gecikme (1 ms altında), endüstriyel robotların senkronize çalışmasını sağlarken (Uusitalo vd., 2020, s.76), bağlantı yoğunluğu (km² başına 1 milyon cihaz), geniş tarım arazilerindeki binlerce sensörün aynı anda iletişim kurmasını desteklemektedir (Yang vd., 2022). Ultra düşük gecikme süresi (Ultra-Low Latency - URLLC), IoT uygulamalarında özellikle kritik zaman gereksinimleri olan senaryolar

için düşük gecikme zamanı hayati önem taşımaktadır. 5G, URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communication) moduyla bu ihtiyacı karşılamaktadır. 5G, ağ gecikmesini 1 ms'nin altına indirerek gerçek zamanlı uygulamalar için ideal bir platform sunmaktadır. Dinamik kaynak tahsisi ve edge computing teknikleri, gecikme sürelerini optimize eder. Otonom Araçlar; Araçların çevreleriyle ve altyapıyla gerçek zamanlı iletişim kurması için ultra düşük gecikme süreleri gerekmektedir. 5G, burada hayati bir rol oynamaktadır. Robotik Cerrahi ise uzaktan ameliyatlar gibi hassas sağlık uygulamalarında, milisaniyelik gecikmeler bile hayati sonuçlar çıkarmıştır. 5G'nin düşük gecikme süresi, bu tür uygulamaların güvenliğini artırmaktadır (Kalør vd., 2017). 5G'nin 1 ms altında gecikme süreleri, endüstriyel IoT'de gerçek zamanlı robotik kontrol ve otonom sistemlerin senkronizasyonunu mümkün kılmaktadır. Özellikle TSN (Zaman Duyarlı Ağ) ile entegre 5G altyapısı, fabrika otomasyonunda operasyonel verimliliğini artırmaktadır (Uusitalo vd., 2020, s.74).

Yüksek Veri Hızı (High Data Rates) 5G'nin sağladığı gigabit seviyesindeki veri hızları, IoT cihazları tarafından toplanan büyük veri kümelerinin hızlı bir şekilde iletilmesine olanak tanımıştır. 5G'nin, New Radio (NR) teknolojisi sayesinde daha geniş bant genişliklerini desteklemesi, yüksek veri hızlarını mümkün kılmaktadır (Andrews vd., 2014). mmWave frekans bantlarının kullanımı, IoT cihazlarından merkezi sunuculara yüksek hacimli verilerin iletilmesini kolaylaştırmaktadır. 5G'nin mmWave (milimetre dalga) ve 256-QAM gibi yüksek spektral verimlilik teknikleri, IoT uygulamalarında saniyede 10 Gbps'ye varan veri hızları sağlamaktadır. Bu, akıllı şehirlerde 4K/8K video tabanlı güvenlik sistemleri ve AR/VR entegre endüstriyel IoT çözümleri için kritik bir fayda sağlamaktadır (You vd., 2021).

Akıllı Sağlık Sistemleri, uzaktan hasta izleme ve görüntüleme sistemlerinde büyük veri setlerinin gerçek zamanlı olarak iletilmesi, 5G'nin yüksek hız avantajı ile olabilir hale gelmektedir. 5G'nin yüksek veri hızı (10 Gbps üzeri), akıllı sağlık sistemlerinde gerçek zamanlı 4K/8K medikal görüntüleme ve uzaktan cerrahi operasyonlar için kritik bir altyapı sağlamaktadır. Örneğin, MR ve CT tarama verilerinin anında aktarımı, doktorların acil durumlarda hızlı teşhis koymasını mümkün kılmaktadır (Palanisamy vd., 2023). Akıllı sağlık sistemlerinde, 5G'nin yüksek veri hızı sayesinde hasta vital verileri (EKG, EEG) ve yüksek çözünürlüklü radyoloji görüntüleri gerçek zamanlı olarak bulut tabanlı platformlara aktarılmaktadır. Bu, uzman doktorların coğrafi sınır olmadan konsültasyon yapmasını kolaylaştırmaktadır (Palanisamy vd., 2023).

- Uzaktan Cerrahi (Telerobotic Surgery): 5G'nin yüksek hızı, cerrahın uzaktan kontrol ettiği robotik kolların milimetrik hassasiyetle çalışmasını sağlamaktadır (Palanisamy

vd., 2023). Robotik cerrahi cihazlarının 4K video akışı ve haptik geri bildirim verilerini anında iletmesi mümkün olmaktadır.

- Gerçek Zamanlı Hasta İzleme: 5G, kritik hastaların anlık hayati verilerinin merkezi sistemlerde işlenerek erken uyarı mekanizmalarını tetiklemesini mümkün kılmaktadır (Palanisamy vd., 2023). Yoğun bakım ünitelerinde hasta başına 100+ sensörden gelen verilerin sürekli aktarımı söz konusu olmaktadır.

Endüstriyel IoT, üretim hattı sensörlerinden elde edilen verilerin hızlı işlenmesi, üretim süreçlerinde gerçek zamanlı optimizasyon sağlamaktadır. 5G'nin yüksek veri hızı (mmWave ve ağ dilimleme ile desteklenen), endüstriyel IoT'de üretim hattı sensörlerinden gelen büyük veri setlerinin gerçek zamanlı işlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu, üretim aşamasında anlık kalite kontrol, tahmini bakım ve enerji optimizasyonu gibi uygulamaları dönüştürmektedir (Fitzek vd., 2023).

Endüstriyel IoT sistemlerinde, 5G'nin mmWave teknolojisi sayesinde üretim hattı sensörlerinden anlık olarak toplanan terabayt seviyesindeki veriler (örneğin sıcaklık, titreşim, basınç), bulut tabanlı analiz platformlarında işlenerek üretim hatalarının anında tespitini sağlamaktadır. Ağ dilimleme ise bu veri trafiğini diğer operasyonel hizmetlerden izole ederek gecikmeyi en aza indirmektedir (Fitzek vd., 2023, s.22-25).

- Tahmini Bakım (Predictive Maintenance): 5G'nin yüksek hızı, makine ömrünü uzatmak için sensör verilerinin saniyeler içinde analiz edilmesini sağlamaktadır (Fitzek vd., 2023). Makine titreşim ve sıcaklık verilerinin anlık aktarımı ile arıza öngörüsü sağlanmaktadır.
- Kalite Kontrol: 5G ile aktarılan 4K kamera verileri, AI tabanlı algoritmalarla ürün kusurlarını milisaniyeler içinde tespit eder (Fitzek vd., 2023, s.24). Yüksek çözünürlüklü kamera görüntülerinin üretim hattında gerçek zamanlı işlenmesi mümkün olmaktadır.

Yüksek bağlantı yoğunluğu (Massive Connectivity- mMTC) 5G, mMTC (massive Machine-Type Communication) moduyla, bir kilometrekarelik alanda bir milyona kadar cihazın bağlantısını desteklemektedir. 5G'nin mMTC modu, akıllı şehirlerdeki milyonlarca sensörün aynı anda bağlantıda kalmasını sağlamaktadır (Kalis vd., 2021). Ağ dilimleme (network slicing) teknolojisi, farklı IoT senaryolarında cihaz yoğunluğuna göre kaynak tahsisini optimize etmektedirr (Foukas vd., 2017, s.8). Örneğin: tarımsal IoT'de sulama ve toprak izleme sistemlerini izole etmiştir (Zhang vd., 2022).

Massive MIMO ve beamforming teknikleri, birden fazla cihazın aynı anda veri iletmesini sağlamaktadır. Akıllı Şehirler teknolojisi ile trafik ışıklarından hava kalitesi sensörlerine kadar milyonlarca IoT cihazı, 5G altyapısı ile aynı anda bağlantıda kalınabilmektedir. Massive MIMO ve beamforming, aynı frekans bandında binlerce IoT cihazının eşzamanlı veri paylaşımını sağlayarak spektral verimliliği 10 kata kadar arttırmaktadır. Bu teknikler, akıllı şehirlerdeki yoğun cihaz trafiğinde gürültüyü azaltmaktadır (López-Pérez vd., 2023). Tarımsal IoT uygulaması ile sulama sistemleri, toprak nem sensörleri ve dronlar gibi cihazlar, geniş bir alanda yararlı bir şekilde çalışabilmektedir. Ağ dilimleme, IoT cihaz yoğunluğunu yönetmek için dinamik spektrum ve hesaplama kaynakları tahsisi yapmaktadır. Örneğin, tarımsal IoT'de sulama sistemleri ve toprak sensörleri için ayrı dilimler oluşturarak trafik çakışmasını önlemektedir (Zhang vd., 2022).

Massive MIMO ve beamforming ise spektral yararlılığı artırarak endüstriyel IoT'de çoklu cihaz desteği sunmaktadır (López-Pérez vd., 2023). Grant-Free erişim, düşük güçlü NB-IoT cihazlarının enerji tüketimini dengelemektedir (Miao vd., 2023). 5G'nin km² başına 1 milyon cihaz bağlantı kapasitesi, akıllı tarım, enerji şebekeleri ve geniş ölçekli sensör ağları gibi IoT uygulamalarını desteklemektedir. Grant-Free erişim ve NB-IoT (Dar Bant IoT) gibi teknikler, düşük güç tüketimi ile yüksek yoğunluklu bağlantıyı optimize etmektedir (Yang vd., 2022). Tablo 1'de IoT'nin Karşılaştığı sorunlar için üretilen çözümlere ilişkin örnekler derlenmiştir.

Tablo 1. IoT'nin Karşılaştığı Sorunlara 5G'nin Çözümleri

Enerji Verimliliği	IoT cihazlarının batarya ömrü genellikle sınırlıdır. 5G'nin enerji verimliliği sunan protokolleri, düşük güç tüketimiyle cihazların daha uzun süre çalışmasını sağlamaktadır (Kanehisa vd., 2020). 5G'nin düşük güç tüketimli NB-IoT ve eMTC (enhanced Machine-Type Communication) protokolleri, IoT cihazlarının batarya ömrünü 10 yıla kadar uzatır. Uyku modu optimizasyonu ve veri iletim aralıklarının dinamik ayarlanması, enerji verimliliğini artıran kritik tekniklerdir (Dohler vd., 2021).
Güvenlik ve Güvenilirlik	5G, IoT cihazlarının güvenliğini artırmak için gelişmiş şifreleme protokolleri ve yapay zekâ tabanlı saldırı tespit sistemleri sunar. 5G, IoT cihazları için uçtan uca şifreleme (E2EE) ve yapay zeka tabanlı anomali tespitiyle siber saldırılara karşı proaktif savunma sağlamaktadır. Örneğin, federatif öğrenme (federated learning) ile dağıtık cihazlarda güvenlik modelleri güncellenerek veri gizliliği korunur (Zeadally vd., 2022).
Hareketlilik	5G'nin gelişmiş mobilite yönetim sistemleri, yüksek hızla hareket eden IoT cihazlarının (örneğin trenler veya dronlar) kesintisiz bağlantıda kalmasını sağlamaktadır. 5G'nin dinamik beamforming ve yumuşak handover mekanizmaları, saatte 500 km hızla hareket eden trenlerde veya dronlarda kesintisiz bağlantı sağlamaktadır. Özellikle mmWave bantlarında kanal tahmini algoritmaları, hızlı mobilite senaryolarında sinyal kalitesini korur (Molisch vd., 2023).

1.2. 6G Teknolojisinin Vizyonu

6G, saniyede 1 terabayt (Tbps) hızı desteklemesi bekleniyor ve bu, kablosuz iletişimde devrim niteliği taşımaktadır. Düşük gecikme süresi, neredeyse anında veri iletimini mümkün kılmaktadır. 6G'nin daha yüksek frekansları, daha iyi verim ve hızlı örnekleme sağlamaktadır. Ek olarak, Çoklu Erişimli Uç Bilişim (MEC) gibi gelişmeler, yapay zekâ yeteneklerine gelişmiş erişim sunmaktadır. 6G teknolojisi, kablosuz iletişimin geleceğini şekillendirecek önemli bir adım olmaktadır. 5G'den daha hızlı, daha akıllı ve daha güçlü bir iletişim altyapısı sunarak yeni nesil uygulamalara kapı aralamaktadır. Dünya genelinde ve Türkiye'de yapılan çalışmalar, 6G'nin önemini vurgulamaktadır ve bu teknolojiye doğru atılan adımlar, kablosuz iletişimin geleceğini şekillendirmektedir (Sharma vd., 2018, s.4-5). Ericson'un yayımladığı rapora göre 6G'nin ticari olarak piyasaya sürülmesi, tahmini olarak 2030 yılına dikkat çekmektedir. Bu teknoloji, terahertz (THz) spektrumu gibi yüksek frekansları kullanmayı amaçlamaktadır. 6G'nin tanımı ve geliştirilmesi için çalışmalar hızla ilerlemektedir ve 2023 sonrasında büyük bir ivme kazanmıştır.

6G, farklı frekansları seçici olarak kullanabilme yeteneğine sahiptir, çünkü atomlar ve moleküller karakteristik frekanslarda elektromanyetik radyasyon yaymaktadır. Aynı zamanda, kamu güvenliği ve kritik varlık koruması gibi alanlarda büyük etkilere sahip olmaktadır. Tehdit algılama, sağlık izleme, özellik tanıma, karar verme, hava kalitesi ölçümleri ve gaz algılama gibi birçok uygulama potansiyeline sahip olmaktadır. Bu teknoloji, daha düşük gecikme süresi ve gelişmiş bağlantı kapasitesiyle kablosuz iletişimde bir devrim yaratma niteliğinde olmaktadır. Özellikle Terahertz (THz) bandının kullanımı, sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) ve holografik iletişim gibi uygulamaları ideal kılmaktadır. 6G'nin Çoklu Erişimli Uç Bilişim (MEC) ve yapay zekâ destekli ağ yönetim özellikleri, enerji verimliliğini artırırken karmaşık veri işlemlerini de mümkün kılmaktadır. Bu yenilikler hem bireysel kullanıcılar hem de IoT cihazları için daha akıllı ve güvenli bir altyapı sunmayı amaçlamaktadır (Morocho ve Lim, 2018).

6G'nin gelişimi, veri talebinin hızla arttığı ve yeni nesil uygulamaların ortaya çıktığı bir döneme denk gelmektedir. Nano düzeyde cihazlarla IoT ekosistemine yeni bir ölçek kazandıracaktır. Bu, özellikle tıbbi cihazlar, akıllı tarım ve çevresel izleme gibi alanlarda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Milisaniyenin altına düşen gecikme süreleri sayesinde holografik iletişim gibi yüksek bant genişliği gerektiren uygulamalarda etkili sonuçlar elde edilecektir. Bu nedenle, 6G'nin geliştirilmesi gelecekteki kablosuz iletişim ihtiyaçlarını karşılamak için önemli olmuştur. 6G, 5G'nin üzerine inşa edilen ve daha yüksek veri hızları, daha düşük gecikme

süreleri ve daha geniş bağlantı kapasiteleri sunmayı hedefleyen yeni nesil kablosuz iletişim teknolojisi haline gelmektedir. 6G'nin temel amacı, bilgi ve iletişim teknolojilerinin sınırlarını genişletmek ve yeni kullanım senaryolarını mümkün kılmaktır (Köse ve Özdemir, 2024:125).

1.2.1. Teknik Vizyon ve Temel Kavramlar (Terahertz (THz), AI/ML Entegrasyonu)

6G'nin gelişimi yalnızca veri hızı ve kapasite artışıyla sınırlı kalmayıp, ağ zekâsı, wireless cognition sürdürülebilirlik ve ultra düşük enerji tüketimi gibi yeni hedeflerle daha geniş bir vizyon sunmaktadır. Bu bağlamda, terabit düzeyinde ultra yüksek veri hızları sağlayarak artırılmış gerçeklik (AR), sanal gerçeklik (VR) ve holografik iletişim gibi yüksek bant genişliği gerektiren uygulamalara olanak tanıyacağı öngörülmektedir (Saad vd., 2019). Ayrıca, zaman kritik uygulamalar için milisaniyenin altında gecikme süreleri hedeflenmekte; bu da özellikle robotik cerrahi ve otonom araçlar gibi alanlarda hayati önem taşımaktadır. 6G'nin bir diğer önemli özelliği ise her yerde bağlantı (ubiquitous connectivity) sağlayarak yalnızca kentsel bölgelerde değil, uzak kırsal alanlar ve okyanus gibi erişimin zor olduğu bölgelerde dahi kesintisiz iletişimi mümkün kılmasıdır (Giordani vd., 2020, s.4). Bunun yanı sıra, yapay zekâ (AI) ve makine öğrenimi (ML) teknolojileriyle kendi performansını en iyi hale getirecek kablosuz algılama (wireless cognition) yetenekleri ile donatılması planlanmaktadır. Son olarak, insan duyularını taklit eden duyusal iletişim (sensory communication) teknolojileri sayesinde yeni nesil haberleşme senaryoları geliştirilerek kullanıcı deneyiminde çığır açması beklenmektedir.

6G'nin en dikkat çekici yeniliklerinden biri, Terahertz (THz) bandını kullanarak ultra yüksek hızlı veri iletimini mümkün kılmasıdır. THz bandı, 5G'nin kullandığı frekansların ötesine geçerek, yüksek bant genişliği gerektiren yeni nesil uygulamalar için ideal bir platform sunar. Bu teknolojinin etkin kullanımı için geliştirilen yeni modülasyon teknikleri, iletişim sistemlerinin kapasitesini ve verimliliğini artırmayı hedeflemektedir (Eichler ve Ziegler, 2022; Parkvall vd., 2023). Terahertz bandı, elektromanyetik spektrumda 100 GHz ile 10 THz arasında yer alır ve geniş bir frekans aralığı sunar. 6G sistemleri, özellikle yüksek bant genişliği gerektiren uygulamalar için bu frekans bandını kullanmayı hedeflemektedir (Giordani vd., 2020). THz bandı, terabit düzeyinde veri hızlarına ulaşmak için gereken bant genişliğini sunmaktadır. Bu özellik, artırılmış gerçeklik (AR), sanal gerçeklik (VR) ve holografik iletişim gibi yüksek veri yoğunluklu uygulamaları desteklemektedir. THz bandında çalışan sistemler, kısa mesafeli hücrelerle yüksek veri aktarımı sağlamaktadır. Bu, özellikle yoğun kentsel alanlarda kapasite sorunlarını çözmektedir. Yüksek veri iletimi ve kısa mesafe nedeniyle, gecikme süreleri milisaniyenin altına düşer, bu da kritik zaman gerektiren uygulamalara olanak

tanımaktadır. Hz frekansları, atmosferik gazlar tarafından büyük ölçüde emilmektedir. Bu durum, sinyallerin mesafe kat ederken ciddi kayıplara uğramasına neden olmaktadır (Han ve Lee, 2020). Yüksek hassasiyetli vericiler ve alıcılar, mevcut teknolojilere kıyasla daha karmaşık ve maliyetli olmaktadır. THz bandında çalışmakta olan sistemler için anten tasarımı, yüksek yönlülük gerektirmektedir. Bu hem enerji verimliliğini artırır hem de girişimi azaltmaktadır.THz bandının verimli kullanılabilmesi amacıyla geliştirilen yeni nesil modülasyon teknikleri hem veri yoğunluğunu artırmayı hem de girişim etkilerini azaltmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda öne çıkan Yörüngesel Açısal İvme (Orbital Angular Momentum (OAM)), elektromanyetik dalgalara spiral benzeri bir yapı kazandırarak aynı frekansta birden fazla veri akışının iletilmesini sağlamaktadır. OAM, spektral verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda yüksek veri kapasitesi, düşük girişim, enerji verimliliği, güvenli iletişim, IoT ve akıllı şehir uygulamaları ile uzay-hava iletişimi gibi alanlarda önemli avantajlar sunmaktadır (Alhammadi vd., 2024). Ayrıca tıp ve biyoteknoloji alanlarında da bu teknolojinin kullanım potansiyeli oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Bir diğer yenilikçi yaklaşım olan Yeniden Yapılandırılabilir Akıllı Yüzeyler (Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS)), elektromanyetik dalgaları istenilen şekilde yeniden yönlendirebilen akıllı yüzey teknolojilerini ifade etmektedir. RIS, sinyal gücünü artırarak kapsama alanını genişletmekte, sinyal kayıplarını azaltmakta ve özellikle yoğun kentsel alanlarda iletişimi daha etkin hale getirmektedir. Düşük maliyetli ve donanım açısından basit bir çözüm sunmasının yanında, enerji verimliliği ve artırılmış güvenlik avantajları da dikkat çekmektedir. Özellikle akıllı şehir uygulamalarında RIS'in, iletişim altyapılarının etkinliğini artıracağı öngörülmektedir.

Puls Modülasyonu ise THz iletişiminde yüksek frekanslı dalgaların kontrolü için ultra kısa süreli darbelerin kullanılmasını esas almaktadır. Bu yöntem, bilgi sinyalinin taşıyıcı sinyal üzerindeki etkilerini genlik, frekans veya faz üzerinden ileterek yüksek hassasiyetli veri aktarımı sağlamaktadır (Alhammadi vd., 2024). Gürültü bağışıklığı, verimli güç kullanımı (özellikle PWM tekniğinde), dijital işleme kolaylığı (özellikle PCM'de) ve zaman bölmeli çoklama (TDM) ile çoklu kanal iletişimi gibi avantajlar sunmaktadır. THz bandının sunduğu bu teknolojiler, IoT uygulamalarında da büyük potansiyel taşımaktadır. Sağlık hizmetlerinde, giyilebilir cihazlardan gelen EKG ve EEG gibi yüksek çözünürlüklü medikal verilerin gerçek zamanlı aktarımı mümkün hale gelirken, endüstriyel IoT'de robotik sistemler ve sensörler arasında düşük gecikmeli iletişim üretim süreçlerini optimize etmektedir (Rappaport ve Heath,

2023; Wang vd., 2023). Ayrıca tarımda da THz bandı, dronlar aracılığıyla hava ve toprak analizlerinin anında yapılmasını sağlayarak tarımsal verimliliği artırmaktadır (ITU, 2022).

6G teknolojisi vizyonu, yalnızca daha yüksek veri hızları ve düşük gecikme süreleri ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda yapay zekâ (AI) ve makine öğrenmesi (ML) entegrasyonuyla ağların daha akıllı, özerk ve verimli hâle gelmesini amaçlamaktadır. 6G ağları, AI/ML algoritmaları sayesinde gerçek zamanlı veri analizi, kaynak tahsisi, kestirimci bakım ve özelleştirilmiş kullanıcı deneyimi sunarak sadece bağlantı sağlayan değil, karar alma süreçlerine aktif katılım gösteren sistemler hâline geleceği öngörülmektedir. Bu entegrasyon, özellikle endüstri 5.0, otonom sistemler ve akıllı şehir uygulamalarında devrim niteliğinde gelişmeleri beraberinde getirecek; aynı zamanda ağın kendi kendini optimize etmesini ve siber güvenlik risklerine karşı daha dirençli olmasını sağlaması öngörülmüştür (Keçeci, 2025). Bu nedenle, AI/ML teknolojilerinin 6G altyapılarına stratejik düzeyde entegre edilmesi, gelecekteki dijital ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve performansı açısından kritik öneme sahip olmaktadır.

1.2.2. Gelecek Standartlar ve Protokoller (Kuantum İletişim, Enerji Verimliliği)

6G teknolojisi, 5G'den farklı olarak çok daha yüksek hızlar, ultra düşük gecikme, daha geniş bağlantı kapasitesi ve yapay zekâ entegrasyonu gibi gelişmiş özellikler sunmayı amaçlamaktadır. Bu gelişmiş hedeflere ulaşabilmek adına yeni nesil standartların ve iletişim protokollerinin geliştirilmesini kaçınıl kılmaktadır. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU), 6G teknolojisinin standartlarını belirlemeye yönelik olarak IMT-2030 çerçevesini oluşturmuştur. Bu standart, 2030 sonrası mobil iletişim sistemlerinin genel hedeflerini ve teknik gereksinimlerini kapsamaktadır (ITU, 2023). IMT-2030 ve 6G vizyonunun temel hedefleri arasında 1 Tbps'e kadar veri aktarım hızları, 100 mikro saniyenin altında gecikme süreleri ve kilometrekare başına 10 milyon cihaza kadar bağlantı desteği yer almaktadır.

6G'nin temel yapı taşlarından biri, terahertz (THz) bandındaki iletişimin geliştirilmesidir. 100 GHz ile 10 THz arasında bir spektrum sunan bu bant, veri kapasitesini ve hızını önemli ölçüde artırmayı hedeflemektedir. Ancak, yüksek atmosferik zayıflama ile donanım maliyetleri ve verimlilik sorunları gibi teknik zorluklar da mevcut olmaktadır. Öte yandan, 6G standartları yapay zekâ destekli protokolleri de içermektedir. Ağ yönetimi, spektrum tahsisi ve enerji optimizasyonu gibi alanlarda yapay zekâ algoritmaları, dinamik spektrum paylaşımı ve kaynak yönetimi için gerçek zamanlı kararlar alabilme kapasitesine sahip olmaktadır.

Yeni nesil çoklu erişim protokolleri, 6G'nin destekleyeceği yüksek kullanıcı yoğunluğu ve düşük gecikme hedeflerine yanıt verebilmek için geliştirilmektedir. Bu çerçevede önerilen

Kısıtlı koordinatlanmamış Çoklu Erişim (Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)) yöntemi, kullanıcıların aynı frekans bandını paylaşmasına olanak tanıyarak spektrum verimliliğini artırmaktadır. Böylece bu yöntemin başlıca avantajları, daha fazla kullanıcı bağlantısı ve düşük gecikme olmaktadır. Benzer şekilde, Oran Bölmeli Çoklu Erişim (Rate-Splitting Multiple Access (RSMA)) tekniği de veri hızını artırmak ve ağ yükünü optimize etmek için geliştirilmektedir. Bunun yanında, holografik iletişim, 6G'nin getireceği önemli yeniliklerden biri olmaktadır. Bu iletişim modeli sayesinde hologram tabanlı veri aktarımı, daha yüksek bant genişlikleri ve düşük gecikme ile mümkün hale gelmektedir. Bu sistemin gereklilikleri arasında çoklu yol yayılımının etkin yönetimi ve ultra yüksek hızda veri aktarımı yer almaktadır. Ayrıca, 6G sistemlerinin önceki nesil protokollerle (5G/4G) uyumlu çalışabilmesi için esnek ve geriye dönük uyumlu protokollerin geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, 5G ve 6G baz istasyonlarının aynı spektrum kaynaklarını dinamik olarak paylaşabilmesi bu kapsamdaki uygulamalardandır.

Kuantum bilgisayarların mevcut şifreleme algoritmalarını tehdit edici potansiyeli, 6G için yeni güvenlik protokollerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Pirandola et al., 2020). Bu bağlamda öne çıkan güvenlik protokolleri arasında lattice tabanlı şifreleme teknikleri ve kuantum anahtar dağıtımı (QKD) yer almaktadır. Ayrıca, blockchain tabanlı güvenlik sistemleri, merkeziyetsiz yapıları sayesinde veri güvenliğini artırmakta ve özellikle IoT cihazlarının kimlik doğrulama ve veri paylaşımı süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılabilmektedir. Yapay zekâ destekli güvenlik protokolleri de ağlar üzerinde tehdit tespiti ve müdahale süreçlerini otonom hale getirmektedir. Bu sistemler, anormal trafik davranışlarını gerçek zamanlı olarak algılayarak tehditlere karşı hızlı müdahale sağlayabilmektedir.

6G'nin çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak şekilde tasarlanması kapsamında, enerji verimliliğini artıran yeşil iletişim protokollerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu protokoller, iletişim altyapısının enerji tüketimini minimize etmeye yönelik olarak yapılandırılmaktadır. Bununla birlikte, yeniden yapılandırılabilir akıllı yüzeylerin (Reconfigurable Intelligent Surfaces - RIS) entegrasyonu sayesinde elektromanyetik dalgalar yeniden yönlendirilerek daha az baz istasyonu ihtiyacı ve optimize edilmiş enerji kullanımı sağlanabilmektedir. Bu yaklaşımlar, 6G sistemlerinin hem performans hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından daha etkin olmasını mümkün kılmaktadır.

1.3. Nesnelerin İnterneti IoT (Internet of Things) Ekosistemi

Nesnelerin İnterneti, kısaca IoT olarak bilinir, günlük yaşamımızı kökten değiştirmeye aday olan bir teknolojik devrimin temelini atmaktadır. IoT, nesnelerin (sensörler, cihazlar, araçlar

vb.) internet üzerinden birbirleriyle iletişim kurabilmesini ve veri paylaşabilmesini sağlayan bir kavram ve teknoloji olarak tanımlanır. IoT, fiziksel nesnelerin sensörler, işlemciler ve kablosuz iletişim protokolleriyle donatılarak veri paylaşmasını sağlayan bir sistemdir. Bu yapı, cihazlar arasında iletişim kurmayı sağlamaktayken, büyük veri analitiği ve yapay zekâ ile bütünleşik çalışarak akıllı karar alma süreçlerini destekler niteliktedir (Nguyen vd., 2021).

IoT'nin gelişimi, 1980'lerde ve 1990'larda temel nesnelere internet, sensörler ve yapay zekâ eklemenin fikriyle başlamıştır. Ancak bu dönemlerdeki teknolojik sınırlamalar, IoT'nin yavaş bir ilerleme kaydetmesine neden olmuştur. İşlemcilerin büyük, maliyetli ve hantal olması, nesnelerin etkili bir şekilde iletişim kurmasını engellemiştir. IoT'nin gerçekten gelişmeye başlaması, düşük maliyetli ve hızlı işlemcilerin ve hücresel veya kablosuz ağların kullanılabilir hale gelmesi ile mümkün olmuştur. Ayrıca, her cihaz için benzersiz bir IP adresi atanabilmesini sağlayan IPv6'nın benimsenmesi, IoT'nin hayatımıza girebilmesi için bir dönüm noktası olumştur. IPv6 protokolü, sınırsız IP adresleme kapasitesiyle IoT cihazlarının küresel ölçekte yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Bu, özellikle milyarlarca cihazın bağlanacağı gelecekteki ağlar için temel bir ihtiyaç haline gelmektedir (Giordani vd., 2020; Nguyen vd., 2021).

IoT terimi, 1999 yılında Kevin Ashton tarafından ilk kez kullanılmıştır. Ashton, Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) teknolojisinin Procter & Gamble (P&G) firması için sağladığı yararları anlatan bir sunum sırasında bu terimi kullanmıştır. Ancak IoT'nin fikirsel kökeni daha önceye, 1991 yılına dayanır. Cambridge Üniversitesi'ndeki bir grup akademisyen, kameralı bir sistem kullanarak bir kahve makinesinin görüntülerini internet üzerinden paylaşmıştır. Bu erken uygulama, nesnelerin gerçek dünyadaki verileri toplayabilmesini, işleyebilmesini ve internet aracılığıyla diğer nesnelerle paylaşabilmesini örneklemektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT), fiziksel nesnelerin sensörler, yazılımlar ve ağlar aracılığıyla birbirine bağlanarak veri toplaması, paylaşması ve işlenmesi prensibine dayanmaktadır. IoT'nin hızla gelişen yapısı, haberleşme sistemleriyle entegrasyonunda yeni standartlar ve teknik gereksinimler doğurmuştur.

1.3.1. Kavramsal Çerçeve ve Temel Haberleşme Protokolleri (MQTT, CoAP vb.)

Nesnelerin İnterneti (IoT), fiziksel nesnelerin sensörler, yazılımlar ve ağ bağlantıları aracılığıyla dijital sistemlere entegre edilerek veri toplaması, bu verileri işlemesi ve paylaşması sürecine dayanan bir teknolojik paradigma olarak tanımlanmaktadır. IoT kavramı ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından, RFID teknolojisinin iş süreçlerine entegrasyonu bağlamında gündeme getirilmiş olsa da bu kavramın temelinde yatan fikirsel altyapı 1991 yılına kadar uzanmaktadır. Bu bağlamda, Cambridge Üniversitesi'nde bir grup araştırmacının, bir

kahve makinesinin görüntülerini internet üzerinden paylaşabilen bir sistem geliştirmesi, fiziksel nesnelerin dijital ağlara bağlanarak bilgi iletimi yapabilmesine yönelik ilk örneklerden biri olarak kabul edilmektedir. IoT sistemleri, yalnızca veri alışverişi değil, aynı zamanda otonom karar alma mekanizmalarını da destekleyen çok katmanlı bir iletişim ve işlem altyapısı sunmaktadır. Günümüzde, IoT'nin hızla gelişen doğası, özellikle haberleşme altyapılarıyla entegrasyonunda yeni standartlar, güvenlik protokolleri ve teknik düzenlemeleri zorunlu kılmakta; bu da kavramın sürekli olarak evrilmesini ve disiplinler arası bir yapıya bürünmesini sağlamaktadır (Ashton, 2009; Atzori vd., 2010).

IoT, fiziksel cihazların internet tabanlı bir ağ aracılığıyla birbirleriyle iletişim kurmasını sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Bu cihazların bağlantı kurabilme yetisi, akıllı şehirlerden tarım sistemlerine kadar birçok sektörde köklü dönüşümlere yol açmıştır. IoT sistemlerinde çevresel verileri toplamak ve çeşitli kontrol işlemlerini gerçekleştirmek amacıyla sensörler ve aktüatörler kullanılmaktadır. Örneğin, sıcaklık sensörleri ortam sıcaklığını algılayabilirken, robotik kollarda yer alan aktüatörler belirli görevleri yerine getirmek üzere harekete geçer. IoT cihazları tarafından elde edilen veriler, kablosuz ağlar (örneğin Wi-Fi,NB-IoT, Zigbee, LoRaWAN) ya da mobil haberleşme teknolojileri (örneğin 5G veya gelecekteki 6G sistemleri) aracılığıyla iletilmektedir. Bu veriler daha sonra merkezi bulut sistemlerinde ya da yerel ağ cihazlarında işlenmektedir. Veri işleme süreci, hem karar alma süreçlerinin etkinliğini artırmak hem de otomasyonun sağlıklı şekilde yürütülmesini mümkün kılmak açısından büyük önem taşımaktadır.

IoT cihazlarının farklı ağ ortamlarında aktif iletişim kurabilmesi amacıyla çeşitli haberleşme protokolleri kullanılmaktadır. Bu protokoller, cihazların enerji tüketimi, bant genişliği kısıtları ve uygulama alanlarına göre farklı avantajlar sunmaktadır.

Uzaktan ölçümlenen sıralı verinin iletimi (Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)) protokolü, düşük bant genişliği kullanan hafif bir iletişim protokolü olarak, IoT cihazlarının mesajlaşma süreçlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu protokol, özellikle akıllı ev sistemleri ve sağlık uygulamaları gibi gerçek zamanlı veri iletiminin önemli olduğu alanlarda tercih edilmektedir (Bandyopadhyay ve Sen, 2011). Kısıtlı Uygulama Protokolü (Constrained Application Protocol (CoAP)), sınırlı bant genişliği ve düşük enerji tüketimi gereksinimleri olan IoT cihazları için optimize edilmiş bir protokoldür. RESTful mimari temelinde geliştirilen CoAP, özellikle web tabanlı haberleşme ihtiyaçlarına uygun bir çözüm sunmaktadır. Uzun Menzil Geniş Alan Ağı (Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)) protokolü ise düşük

güç tüketimi ve uzun mesafeli veri iletimi gereksinimlerine cevap veren bir yapıya sahiptir. Bu nedenle tarım teknolojileri ve endüstriyel uygulamalar gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

1.3.2. 5G ve 6G Mobil İletişim Teknolojilerinin Nesnelerin İnterneti (IoT) İçin Önemi

Nesnelerin İnterneti (IoT), birbirine bağlı cihazların veri alışverişi yoluyla akıllı çözümler sunduğu bir ekosistem olarak, günümüz dijital dönüşümünün temel taşlarından biridir. 5G ve 6G teknolojileri ise bu sistemin kapasitesini ve etkinliğini çarpıcı biçimde artırarak IoT'nin daha hızlı, düşük gecikmeli ve yüksek güvenilirlikte çalışmasını mümkün kılmaktadır.

Beşinci nesil mobil iletişim teknolojisi (5G), Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazları için daha yüksek veri iletim hızı, daha düşük gecikme süresi ve daha güvenilir ağ bağlantısı sağlamaktadır. Bu teknoloji özellikle "Massive IoT" ve "Critical IoT" gibi kullanım senaryoları açısından dikkat çekicidir (Shafi vd., 2017). Massive IoT, düşük veri iletim hızı ve düşük enerji tüketimi gerektiren milyarlarca cihazın bağlantısını desteklemektedir. Buna karşılık, Critical IoT uygulamaları, endüstriyel otomasyon sistemleri ve otonom araçlar gibi zaman açısından hassas işlemler için ultra düşük gecikme süresi ve yüksek güvenilirlik sunmaktadır. Altıncı nesil iletişim teknolojisi (6G), IoT'nin ölçeklenebilirlik ve performans kapasitesini önemli ölçüde artırarak yeni uygulama alanlarının önünü açmaktadır. Nano IoT, moleküler düzeydeki sensörler ve aktüatörler aracılığıyla mikro ölçekte kontrol ve izleme imkânı sunarken; yapay zekâ destekli ıot sistemleri, veri analizi ve ağ yönetimi süreçlerine yapay zekânın entegre edilmesiyle daha akıllı ve verimli hale gelmektedir (Alhammadi vd., 2024).

Beşinci ve altıncı nesil mobil iletişim teknolojileri (5G ve 6G), Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamalarının yapısını ve kapsamını temelden dönüştürmektedir. 5G ile ağlarda gecikme sürelerinin milisaniye düzeyine düşmesi, milyarlarca cihazın aynı anda bağlanabilmesi ve veri aktarım hızlarının ciddi biçimde artması, özellikle endüstriyel otomasyon, akıllı şehir uygulamaları ve sağlık hizmetleri gibi alanlarda devrimsel gelişmelere zemin hazırlamıştır. Bu dönüşüm, yalnızca cihazların birbirine bağlanma kapasitesini değil, aynı zamanda bu cihazların gerçek zamanlı veri alışverişiyle karar mekanizmalarına entegrasyonunu da mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla 5G teknolojisi, Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisini pasif veri toplayıcı konumundan, aktif karar alıcı bir yapıya evrilmesini sağlayan stratejik bir altyapı unsuru haline gelmiştir.

6G teknolojisinin potansiyeli ise bu dönüşüm sürecini çok daha ileri boyutlara taşımaktadır. Yapay zekâ ile entegre çalışan IoT sistemleri, nano düzeyde izleme yapan sensörlerle birleştirildiğinde, IoT sadece günlük yaşamı kolaylaştıran bir sistem olmaktan çıkarak mikro

ölçekte yönetişim, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi konularda stratejik bir teknoloji haline gelmektedir. Örneğin, 6G'nin sunduğu ultra düşük gecikme ve yüksek güvenilirlik sayesinde, uzaktan cerrahi gibi yüksek riskli ve zaman hassasiyeti yüksek uygulamalar mümkün hale gelirken, tarımda toprak verimliliğinin anlık izlenmesi gibi uygulamalar da daha isabetli kararların önünü açmaktadır. Bu bağlamda, 6G destekli IoT sistemleri, yalnızca teknolojik bir ilerlemeyi değil, aynı zamanda iş yapma biçimlerinde, kamu hizmetlerinde ve toplumsal altyapılarda köklü bir dönüşümü temsil etmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜMÜN UYGULAMA ALANLARI SOSYOEKONOMİK BOYUTU

2.1. 5G, 6G ve IoT Uygulama Alanları: Vaka Çalışmaları

Nesnelerin İnterneti (IoT), günümüzün teknolojik dünyasında büyük bir değişimi temsil ediyor. IoT, nesnelerin (sensörler, cihazlar, araçlar vb.) internet üzerinden birbirleriyle iletişim kurabildiği ve veri paylaşabildiği bir konsepttir. IoT, akıllı ev sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Akıllı termostatlar, akıllı aydınlatma sistemleri, güvenlik kameraları ve akıllı prizler gibi cihazlar, ev sahiplerine evlerini uzaktan kontrol etme imkânı sunmaktadır. IoT, sağlık sektöründe büyük bir gelişme yaratmıştır. İlaç kutularına yerleştirilen sensörler, hasta takip sistemleri ve taşınabilir sağlık cihazları, hastaların sağlık verilerini izlemelerine ve sağlık profesyonellerinin uzaktan takip etmelerine yardımcı olmaktadır. Örneğin, akıllı bileklikler kan basıncını ölçebilir ve bu verileri bir mobil uygulama aracılığıyla doktorlarla paylaşabilmektedir.

Çiftliklerde, IoT kullanılarak hayvanların izlenmesi ve yönetilmesi daha verimli hale gelmektedir. Sensörler ve izleme sistemleri, hayvanların hareketlerini, sıcaklığını ve sağlık durumunu izler. Bu veriler, çiftçilere hayvan refahını artırmak için önemli bilgiler sunmaktadır. IoT, çevresel izleme ve koruma alanında büyük bir rol oynar. Hava kalitesi sensörleri, su kaynaklarının izlenmesi, orman yangınlarının erken teşhisi ve atık yönetimi gibi çevresel sorunların çözümü için kullanılmaktadır. Bu sayede doğal kaynakların daha iyi korunması sağlanmaktadır. IoT, lojistik ve taşımacılık sektöründe önemli bir dönüşüm yaratmaktadır. Araç takip sistemleri, kargo izleme ve filo yönetimi için kullanılmaktadır. Bu sayede nakliye işlemleri daha verimli hale gelir ve maliyetler azaltılır. Giyilebilir teknolojiler, IoT'nin bir başka önemli alanını oluşturur. Akıllı saatler, akıllı gözlükler ve sağlık izleme cihazları gibi giyilebilir cihazlar, kullanıcıların sağlık verilerini izlemelerine ve günlük aktivitelerini takip etmelerine yardımcı olmaktadır. Endüstriyel IoT, üretim tesislerini daha verimli ve akıllı hale getirmektedir. Sensörler, makinelerin durumunu izlemekte, bakım gereksinimlerini tahmin etmektedir.

Akıllı prizler, dünyanın herhangi bir yerindeyken evde bulunan elektronik aygıtlarınızı akıllı telefonunuzla yönetmenizi sağlamaktadır. Evinizdeki normal prizlere takılan bu tasarıma herhangi bir elektronik aygıtın fişini takabilirsiniz. Ayrıca, mini boyutu sayesinde prizde fazla yer kaplamaz. Akıllı prizler, prize takılan elektronik aletlerinizi belirlediğiniz zaman aralıklarında gücünü açıp kapatabilmenizi veya aynı işlemi akıllı telefonunuzdan tek bir tuşla

gerçekleştirmenizi sağlamaktadır. Örneğin, Tapo P100 akıllı priz, Google Asistan ve Amazon Alexa desteklidir ve sesli komutlarla da yönetilebilmektedir. Bu sayede "bilgisayarı aç" veya "ışığı kapat" gibi komutlarla cihazlarınızı kontrol edebilirsiniz. AT&T telekomünikasyon şirketi, protez ihtiyacı olan insanlar için ağ bağlantılı bacak protezi geliştirmekte ve tasarlamaktadır. Bu akıllı protez, kullanılmaya başlandıktan sonra kişinin uygunluğunu izleyebilir ve olası sorunları kliniğe iletebilmektedir. Ayrıca, hasta doktorları da uzaktan hastaların günlük protez hareket verilerini mobil uygulama aracılığıyla izleyebilmektedir. Bu teknoloji, protez kullanıcılarına daha iyi bir yaşam kalitesi sunar ve sağlık profesyonellerine daha iyi bir hasta bakımı sağlamaktadır.

IoT, trafik akışını hızlandırmak için trafik ışıklarını ayarlayarak trafik yönetiminde kullanılmaktadır. Yol kenarındaki elektrik direklerindeki sensörler, trafik sıkışıklığını, iş çıkış saatlerini ve diğer trafik verilerini izler. Bu veriler, trafik ışıklarının ayarlanmasında kullanılır. Özellikle ambulanslar, itfaiyeler ve polis araçları gibi öncelikli araçlar, trafik kontrol sistemine bağlıdır. Eğer bir trafik ışığında arıza olmakta ise, sistem, hızla yardım ekiplerini uyarmakta ve sorunu çözmelerine yardımcı olmaktadır. Akıllı trafik ışıkları ve akıllı şehirler, trafik yönetimini daha etkili hale getirmektedir ve trafik kazalarını azaltmaktadır. Akıllı mağazalar, müşteri deneyimini iyileştirmek ve satın alma sürecini hızlandırmak için IoT teknolojisini kullanmaktadır. Akıllı aynalar, belirli giysi parçalarını denemeden önce nasıl görüneceğinizi göstermekte ve müşterilerin deneme sırasında verdikleri tepkileri kaydetmektedir. Akıllı raflar, ürünlerin alınıp alınmadığını göstermekte ve mağaza sahiplerine envanter yönetimi konusunda veri sağlamaktadır. Bu, alışveriş deneyimini daha hızlı ve verimli hale getirmektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisinin bu örnekleri, teknolojinin günlük yaşamımıza nasıl entegre edildiğini ve yaşamımızı nasıl kolaylaştırdığını göstermektedir. Bu tür akıllı cihazlar ve sistemler, daha fazla konfor, güvenlik ve verimlilik sağlamaktadır.

2.1.1. Akıllı Şehirler ve Endüstriyel IoT (Endüstri 4.0)

5G ve 6G teknolojilerinin gelişimi, toplumsal yaşamı ve ekonomik yapıları derinlemesine dönüştürmektedir. Bu teknolojiler, özellikle akıllı şehirlerin altyapısını güçlendirmekte ve yaşam tarzlarını yeniden şekillendirmektedir. Trafik yönetimi alanında, trafik yoğunluğunun azaltılması ve otonom araçların sistemlere entegrasyonu, bu dönüşümün somut örneklerindendir. Enerji yönetiminde ise, akıllı enerji şebekeleri sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması mümkün hale gelmiştir. Ayrıca, güvenlik ve gözetim sistemleri de IoT cihazları, sensörler ve güvenlik kameralarının entegrasyonu ile kamu

güvenliğini artırmaktadır. Bu kavram, Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ, robotik sistemler ve büyük veri analizini üretimle birleştirir.

Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde dijital teknolojilerin entegrasyonunu ifade eden bir sanayi devrimidir. Endüstri 4.0 ile fabrikalar, daha akıllı, esnek ve verimli hale gelmektedir. Üretim makineleri birbiriyle iletişim kurarak süreçleri otomatik olarak optimize edebilir. Bu dönüşüm sayesinde, hata oranları azalır, kaynak kullanımı optimize edilir ve maliyetler düşürülür. Endüstri 4.0, sadece teknolojik değil, aynı zamanda iş gücü yapısında da büyük değişimlere yol açmaktadır. Bu nedenle işletmelerin başarılı olabilmesi için dijital dönüşüme uyum sağlaması kaçınılmazdır.

Web 3.0, merkeziyetsiz bir internet anlayışını temsil eder ve blok zinciri (Blockchain) teknolojisi üzerine inşa edilmiştir. Kullanıcıların verileri üzerindeki kontrolünü artırırken, yapay zekâ ve semantik web teknolojileri ile daha kişiselleştirilmiş deneyimler sunar. Bu yaklaşım, güvenlik, şeffaflık ve kullanıcı merkezli hizmetleri öne çıkararak Web 2.0'ın sosyal etkileşim odaklı yapısının ötesine geçer. Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde dijitalleşmeyi, otomasyonu, yapay zekâyı ve nesnelerin internetini (IoT) entegre eden sanayi devrimidir. Akıllı fabrikalar sayesinde makineler ve sistemler birbirleriyle iletişim kurarak daha esnek, verimli ve düşük maliyetli üretim sağlar. Bu dönüşüm, sadece üretim süreçlerini değil, aynı zamanda iş modellerini ve küresel rekabet dinamiklerini de köklü biçimde değiştirmektedir.

Eğitim ve sağlık sektörleri de bu teknolojik dönüşümden önemli ölçüde faydalanacaktır. Eğitimde, 5G ve 6G teknolojileri sayesinde uzaktan eğitim ve sanal gerçeklik temelli sınıflar gibi yenilikçi uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Sağlık alanında ise düşük gecikme süreleri ve yüksek bağlantı güvenilirliği, uzaktan cerrahi ve hasta izleme uygulamalarının gelişimini desteklemektedir (Varga vd., 2020). Günlük yaşam tarzlarında ise 5G ve 6G, bireylerin hayatına hız ve konfor katmaktadır. Akıllı cihazlar, giyilebilir teknolojiler ve IoT tabanlı ev sistemleri, yaşam kalitesini önemli ölçüde artırmaktadır.

Ekonomik modellerde de bu teknolojilerin faydaları belirginleşmiştir. 5G ve 6G'nin sağladığı yüksek bağlantı kapasitesi, büyük veri kümelerinin toplanmasını ve analiz edilmesini kolaylaştırarak veri ekonomisinin gelişimini teşvik etmektedir. Bu bağlamda veri tabanlı iş modelleri giderek yaygınlaşmaktadır. E-ticaret alanında, 5G teknolojisi ile sağlanan hızlı ve güvenilir bağlantılar, kullanıcıların alışveriş deneyimini iyileştirmekte; finans sektöründe ise 6G'nin sunduğu yüksek güvenilirlik sayesinde blockchain tabanlı sistemlerin benimsenme süreci hız kazanmaktadır.

Sanayi alanında ise, bu teknolojiler endüstriyel verimliliği artırmaktadır. Özellikle otomasyonun yaygınlaşmasıyla birlikte üretim süreçleri daha verimli hale gelmekte, maliyetler azalmakta ve üretim kapasitesi artmaktadır. Son olarak, 5G ve 6G teknolojileri ülkelerin dijital ekonomideki rekabet gücünü artırmakta ve küresel ölçekte ekonomik dengeleri yeniden şekillendirmektedir.

2.1.2. Akıllı Tarım, Sağlık ve Eğitim Uygulamaları

6G teknolojisi, sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) gibi ileri dijital çözümlerle eğitimi daha etkileşimli ve erişilebilir bir hale getirmektedir. Özellikle fen bilimleri ve mühendislik gibi uygulamalı disiplinlerde, laboratuvar deneyimlerinin VR/AR tabanlı simülasyonlarla uzaktan gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Bu durum, fiziksel kısıtlamaların ortadan kaldırılması ve öğrenme süreçlerinin bireyselleştirilmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

6G'nin sunduğu düşük gecikme süresi ve yüksek veri aktarım hızı, sağlık sektöründe devrim niteliğinde yenilikleri mümkün kılmaktadır. Uzaktan hasta takibi, yapay zeka destekli tanı sistemleri ve robotik cerrahi uygulamaları, 6G ile daha güvenilir ve etkili hale gelmektedir. Bu teknolojik olanaklar hem sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmakta hem de tıbbi müdahalelerin doğruluk ve hızını artırmaktadır.

Tarımda dijital dönüşüm süreci, 6G teknolojisiyle daha da hız kazanmaktadır. Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörleri ve drone teknolojileri aracılığıyla toplanan veriler, 6G'nin geniş bant kapasitesi sayesinde gerçek zamanlı olarak analiz edilmekte ve uygulanmaktadır. Bu bağlamda, hava durumu tahminleri, toprak nem analizleri ve otomatik sulama sistemleri daha verimli yönetilebilmekte; böylece tarımsal üretkenlik ve kaynak kullanımı optimize edilmektedir.

6G teknolojisi, yalnızca iletişim altyapılarını değil; eğitim, sağlık ve tarım gibi temel sektörleri de dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu dönüşüm sayesinde daha kapsayıcı, verimli ve sürdürülebilir hizmet modelleri geliştirilebilmekte; toplumların yaşam kalitesi önemli ölçüde artırılmaktadır. Bu nedenle, 6G'nin yaygınlaşmasıyla birlikte dijital eşitsizliklerin azaltılması ve inovatif çözümlerin desteklenmesi büyük önem taşımaktadır.

2.2. Teknolojik Dönüşümün Sosyokültürel Boyutu

Teknolojik dönüşüm, sadece üretim süreçlerini değil; bireylerin düşünme biçimlerini, toplumsal ilişkileri ve kültürel yapıların işleyişini de derinlemesine etkilemektedir. Marshall McLuhan'ın "araç mesajdır" (the medium is the message) yaklaşımı, teknolojik araçların yalnızca iletişim biçimlerini değil, toplumsal algı ve davranış kalıplarını da şekillendirdiğini

ileri sürmektedir. McLuhan'a göre medya araçları, içerikten bağımsız olarak, bireylerin dünyayı algılama biçimlerini dönüştürmektedir. Benzer şekilde, Manuel Castells'in "ağ toplumu" (network society) kavramı, dijital teknolojilerin bireyler arasındaki bağları yeniden yapılandırdığını ve yeni bir sosyal organizasyon biçimi ortaya çıkardığını savunmaktadır. Bu çerçevede dijitalleşme, bireysel kimliklerin, topluluk aidiyetlerinin ve kültürel üretim süreçlerinin dönüşümüne yol açmaktadır.

Öte yandan, Neil Postman teknolojik gelişmelere daha eleştirel bir perspektiften yaklaşarak, özellikle dijitalleşmenin bilgiye erişimi kolaylaştırırken, düşünsel derinliği zayıflattığını ileri sürmektedir. Postman'a göre teknoloji, toplumu eğlence ve yüzeyselliğe yönlendirme potansiyeline sahiptir ve bu durum sosyokültürel değerlerde bir aşınmaya yol açabilmektedir. Bu nedenle, teknolojik dönüşümün sosyokültürel yansımaları yalnızca olumlu gelişmeler olarak değil, aynı zamanda toplumsal yapılar üzerindeki baskı ve dönüşüm biçimleri olarak da ele alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında, McLuhan, Castells ve Postman'ın ortaya koyduğu kuramsal çerçeveler doğrultusunda teknolojik dönüşümün toplum ve kültür ilişkisine dair bilgiler gelecek bölümlerde sunulacaktır.

2.2.1. Teorik Perspektifler (McLuhan, Castells, Postman)

McLuhan, iletişim araçlarının yalnızca içerik taşıyan pasif kanallar olmadığını, doğrudan toplum yapısını etkileyen aktif unsurlar olduğunu öne sürmektedir. Ona göre iletişim araçları, toplumsal değişimi içeriklerinden bağımsız biçimde tetiklemektedir. Bu yaklaşım doğrultusunda öne sürdüğü "araç mesajdır" (the medium is the message) tezi, teknolojik araçların biçiminin mesajdan daha önemli bir dönüşüm gücüne sahip olduğunu ifade etmektedir. Örneğin, matbaanın icadı yalnızca bilgi çoğaltımını kolaylaştırmakla kalmamış, bireysel okuma alışkanlıklarını ve ulusal kimlik oluşumunu da şekillendirerek modernitenin inşasında belirleyici bir rol üstlenmiştir. McLuhan'ın "global köy" kavramı ise iletişim teknolojilerinin, özellikle elektronik ortamların dünyayı zamansal ve mekânsal olarak küçülterek anlık etkileşimin hâkim olduğu yeni bir toplumsal bilinç biçimi yarattığını savunmaktadır (McLuhan, 1964). Bu bağlamda internet ve sosyal medya platformları, McLuhan'ın global köy vizyonunu daha ileriye taşıyarak hiper-gerçekçi bir etkileşim ortamı yaratmaktadır. Örneğin, X (Twitter) gibi platformlar, #BlackLivesMatter gibi hareketlerin coğrafi sınırlardan bağımsız biçimde küresel ölçekte yayılmasına olanak sağlamaktadır. Bu durum, McLuhan'ın iletişim araçlarını "duyuların uzantısı" olarak tanımlamasıyla örtüşmekte ve zaman-mekân algısının yeniden biçimlenmesine neden olmaktadır (McLuhan, 2014).

Castells, dijital çağın toplumsal ve ekonomik yapısını "ağ toplumu" (network society) kavramı ile açıklamaktadır. Ona göre, bilgi teknolojilerindeki gelişmeler üretim süreçlerini merkezsizleştirmiş, geleneksel hiyerarşiler çözülmüş ve bunun yerine esnek, dinamik ve yatay örgütlenmelere dayalı bir ağ yapısı oluşmuştur. Bu yapı, mekân ve zaman sınırlamalarını ortadan kaldırarak küresel ölçekte iletişim ve iş birliği olanaklarını genişletmektedir (Castells, 1996). Ağ toplumu, aynı zamanda dijitalleşen kapitalizmin bir biçimi olan "enformasyonel kapitalizm"i doğurmuştur. Bu üretim biçiminde bilgi hem ekonomik değerin temel kaynağı hem de sosyal organizasyonun merkezidir. Gig ekonomisi örneğinde olduğu gibi, Uber ya da Deliveroo gibi platformlar dijital ağlar aracılığıyla kaynak dağıtımını optimize ederken, aynı zamanda emeği esnek ve güvencesiz bir forma sokmaktadır. Castells'in "gerçek sanallık" (real virtuality) kavramı, fiziksel ve dijitalin iç içe geçtiği bu yeni sosyal yapıyı açıklamakta kullanılabilmektedir. Airbnb gibi platformlar, yalnızca konaklama pratiklerini değil, aynı zamanda ekonomik ve kültürel ilişkileri de dönüştürmektedir (Castells, 2005).

Neil Postman ise teknolojik gelişmelerin kültürel yapılar üzerindeki dönüştürücülüğünü eleştirel bir bakış açısıyla ele almaktadır. "Teknopol" kavramıyla, teknolojinin araç olmaktan çıkıp amaç hâline geldiği, kültürel değerlerin teknolojik araçlar tarafından şekillendirildiği bir toplum modelini tanımlamaktadır. Postman'a (1992) göre, teknolojik araçlar yalnızca iletişimi kolaylaştıran nötr ögeler değildir; aynı zamanda düşünme biçimlerini, eğitim sistemlerini ve toplumsal ilişkileri yeniden biçimlendiren güçlü etkenlerdir. Medya ekolojisi kuramı kapsamında iletişim teknolojileri, bir ekosistem gibi değerlendirilmekte; bu ekosistem içerisinde her yeni teknolojik unsur, diğer bileşenler üzerinde dönüşümsel souçlar yaratmaktadır. Postman, teknolojinin kontrolsüz yayılımının insani değerleri arka plana ittiğini ve bireyleri pasif tüketicilere dönüştürdüğünü savunmaktadır. Günümüzde TikTok ve Instagram gibi sosyal medya platformları, kullanıcıların dikkatini manipüle eden algoritmalar aracılığıyla Postman'ın "dikkat ekonomisi"ne dair eleştirilerini somutlaştırmaktadır. Bu algoritmalar, bireysel davranışları yönlendirerek teknolojinin kültürel üretimi ve tüketimi nasıl denetlediğini göstermektedir. Böylece Postman'ın teknolojinin kültüre hükmettiği yönündeki iddiası, dijital çağda daha da güncel ve geçerli hâle gelmiştir (2019).

2.2.2. Dijital Dönüşüm ve Kullanıcı Kültürü (Dijital Vatandaşlık, Tüketim Alışkanlıkları)

Dijitalleşmenin hayatın her alanına nüfuz etmesiyle birlikte, bireylerin çevrimiçi dünyadaki varlığı ve etkileşim biçimleri giderek daha önemli hâle gelmiştir. Bu bağlamda dijital vatandaşlık, bireylerin sanal ortamlarda sergilediği etik ve sorumlu davranışların yanı sıra,

dijital kimliklerin şekillenmesinde de belirleyici bir rol oynamaktadır. Teknolojik gelişmeler yalnızca sosyal katılımı değil, aynı zamanda bireylerin ev içi tercihleri ve tüketim alışkanlıklarını da yeniden tanımlamaktadır.

Dijital vatandaşlık, bireylerin çevrimiçi ortamlarda etik, sorumlu ve katılımcı davranışlar sergilemesini ifade etmektedir. Bu kavram, teknolojinin sosyal ve politik yaşama entegrasyonuyla birlikte yeni bir kimlik inşa sürecini de beraberinde getirmiştir. Manuel Castells (2010), ağ toplumu teorisinde, dijital kimliklerin fiziksel ve sanal dünyalar arasında akışkan bir şekilde oluştuğunu ve bireylerin çoklu kimliklerle kendilerini ifade ettiğini vurgulamaktadır. Dijital vatandaşlık, veri mahremiyeti (Nissenbaum, 2010) ve dijital okuryazarlık (Van Dijk, 2020) gibi unsurlarla desteklenerek demokratik katılımı güçlendirmektedir.

Örneğin, sosyal medya platformlarında kullanıcılar, profil bilgileri ve paylaşımları aracılığıyla kurgulanmış kimlikler oluşturur. Instagram'da "influencer" kültürü, bireylerin tüketim alışkanlıklarını ve sosyal statülerini yansıtan bir dijital kimlik performansıdır. Bu durum, dijital vatandaşlığın ticarileşmiş bir boyutunu ortaya koyar (Turkle, 2011). UNESCO (2022c) raporları, gençlerin dijital haklar ve sorumluluklar konusunda eğitim almasının dijital vatandaşlık bilincini artırdığını belirtmektedir.

Akıllı ev teknolojileri, tüketici davranışlarını kökten değiştirerek konfor odaklı bir yaşam tarzını benimsetmiştir. Shoshana Zuboff (2019), gözetim kapitalizmi kavramıyla, akıllı cihazların kullanıcı verilerini toplayarak davranışsal tahmin modelleri oluşturduğunu ve tüketim alışkanlıklarını yönlendirdiğini savunmaktadır. Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri, enerji tasarrufundan güvenlik sistemlerine kadar ev yaşamını optimize ederken kullanıcıların pasif veri kaynaklarına dönüşmesine neden olmaktadır (Morozov, 2013).

Örneğin, Amazon Alexa gibi akıllı asistanlar, kullanıcıların alışveriş tercihlerini öğrenerek otomatik sipariş önerileri sunar. Bu durum, tüketicilerin karar verme süreçlerini algoritmik sistemlere devretmesine yol açar. Sarah Pink vd. (2017) yaptığı etnografik çalışmalar, akıllı termostatların ev içi rutinleri nasıl dönüştürdüğünü ve enerji tüketiminde bilinçsiz değişimlere neden olduğunu ortaya koymaktadır. IEEE (2021) raporları, akıllı ev teknolojilerinin 2030'a kadar küresel enerji tüketimini %25 azaltabileceğini öngörmektedir.

2.3. Ekonomik ve Yapısal Değerlendirmeler

2.3.1. IoT Tabanlı Yeni İş Modelleri ve Ekonomik Değişim

Nesnelerin İnterneti (IoT) ve akıllı sistemlerin gelişimi, 5G ve 6G teknolojilerinin yüksek hızlı bağlantı olanaklarıyla önemli ölçüde ilerlemiştir. Bu gelişmeler; akıllı evler, sağlık izleme sistemleri ve bağlantılı araçlar gibi uygulamaların verimliliğini artırmaktadır (Varga vd., 2020). Ayrıca, 6G'nin ultra düşük gecikme süresi sayesinde desteklenen bulut ve uç bilişim teknolojileri, büyük veri işleme süreçlerini hızlandırmakta ve veri depolama optimizasyonunu daha güvenilir hâle getirmektedir (Saad vd., 2020). Bu teknolojiler aynı zamanda iş ortamlarını da dönüştürerek, kesintisiz video konferans ve sanal iş birliği araçları aracılığıyla uzaktan ve hibrit çalışma modellerini daha verimli kılmıştır (Tariq vd., 2020). Dahası, sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojileri, teknolojik değişime daha kolay uyum sağlanmasına olanak tanıyan yenilikçi ve maliyet etkin çalışan eğitim çözümleri sunmuştur (Alhammadi vd., 2024). Son olarak, yapay zekâ destekli kişiselleştirilmiş hizmetler sayesinde, kullanıcı davranışları ve tercihlerinin analiz edilmesi yoluyla müşteri memnuniyeti ve rekabet avantajı artırılmıştır (Kalør vd., 2017).

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) teknolojileri, geleneksel iş yapış biçimlerini radikal bir biçimde dönüştürmekte ve özellikle veri merkezli iş modellerinin ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Bu dönüşüm, sadece büyük ölçekli şirketleri değil, aynı zamanda küçük ve orta ölçekli işletmeleri (KOBİ) ve start-up'ları da doğrudan etkilemektedir. Manuel Castells'in (2010) enformasyonel kapitalizm kavramı çerçevesinde, IoT destekli şirketlerin üretim ve tüketim süreçleri, dijital ağlar aracılığıyla küresel ölçekte yeniden yapılandırılmaktadır. Bu şirketler, dağıtık veri kaynaklarından gerçek zamanlı bilgi toplayarak üretim kararlarını optimize edebilmekte ve aynı zamanda müşteri davranışlarını derinlemesine analiz ederek hizmetlerini bireyselleştirebilmektedir. Bu sayede pazarda farklılaşma ve sürdürülebilir rekabet avantajı sağlama potansiyeli önemli ölçüde artmaktadır. Örneğin Nest Labs tarafından geliştirilen akıllı termostat sistemleri, kullanıcıların enerji tüketim alışkanlıklarını öğrenen algoritmalar sayesinde %20'ye varan enerji tasarrufu sağlamaktadır (IEEE, 2021). Bu tür ürünler, yalnızca kullanıcı konforunu artırmakla kalmamakta, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunmaktadır. Shoshana Zuboff'un (2019) ileri sürdüğü gözetim kapitalizmi teorisi ise bu dönüşümün daha eleştirel bir boyutunu gözler önüne sermektedir. Zuboff, IoT tabanlı start-up'ların kullanıcı verilerini sistematik bir şekilde topladığını ve bu verileri, yeni bir ekonomik kaynak olarak işleyerek pazarlama ve tahmine dayalı satış stratejilerine dönüştürdüğünü ifade etmektedir. Bu modelde, yazılım veya donanım tabanlı ürünler kimi

zaman ücretsiz ya da düşük maliyetle sunulmakta, fakat esas kazanç kullanıcı verilerinden elde edilen ekonomik çıktılardan sağlanmaktadır.

Türkiye'den bir örnek olarak, tarım sektöründe faaliyet gösteren IoT tabanlı girişim Tarfin, çiftçilerin üretim süreçlerini dijitalleştirerek verimliliği artırmakta ve maliyetleri düşürmektedir. Tarfin, toprak ve hava koşullarına ilişkin sensör verilerini analiz ederek çiftçilerin doğru zamanda doğru girdiyle üretim yapmasına olanak sağlamaktadır (Tarfin, 2023). Bu durum, dijital tarımın yaygınlaşması ve kırsal kalkınmanın hızlanması açısından umut verici bir gelişmedir.

Öte yandan, tüm bu olumlu gelişmelere rağmen, IoT tabanlı iş modelleri çeşitli etik ve hukuki sorunları da beraberinde getirmektedir. Özellikle kullanıcıların kişisel verilerinin toplanması, işlenmesi ve üçüncü taraflarla paylaşılması gibi süreçler, veri mahremiyeti açısından ciddi endişeler doğurmaktadır. Veri koruma düzenlemelerinin (örneğin, GDPR) etkin bir şekilde uygulanması ve şirketlerin şeffaflık ilkesine uygun hareket etmesi, bu alandaki güven sorunlarını azaltmak açısından kritik önemdedir.

Nesnelerin İnterneti (IoT), fiziksel nesnelerin internet aracılığıyla birbirine bağlanması ve veri alışverişi yapabilmesi sayesinde medya iletişimi ve kullanıcı kültüründe köklü dönüşümlere yol açmaktadır. Teknolojik yaklaşımlar açısından bakıldığında, IoT yalnızca cihazların otomasyonu ve veri toplama süreçlerini kolaylaştırmakla kalmayıp, aynı zamanda medya endüstrisinde kişiselleştirilmiş içerik üretimini, etkileşimli iletişim süreçlerini ve kullanıcı deneyimlerini yeniden şekillendirmektedir (Ashton, 2009). Bu durum, kullanıcıların yalnızca pasif tüketici olmaktan çıkıp, sürekli veri üreten ve bu veriler üzerinden şekillenen dinamik bir kültürün parçası haline gelmelerine zemin hazırlamaktadır.

Medya iletişimi bağlamında IoT, akıllı cihazlar ve giyilebilir teknolojiler aracılığıyla kullanıcıların sürekli bağlantıda olduğu, gerçek zamanlı etkileşimin ön plana çıktığı bir yapı yaratmaktadır. Örneğin, akıllı televizyonlar veya sesli asistanlar aracılığıyla kullanıcılar, medya içerikleriyle doğrudan iletişim kurabilmekte ve bu iletişim, tüketim alışkanlıklarının ötesinde katılımcı bir kültürün gelişmesine katkı sağlamaktadır (Atzori vd., 2010). Bu bağlamda medya, yalnızca bilgi aktaran bir araç olmaktan çıkarak, kullanıcı ile sürekli etkileşim kuran akıllı bir ekosisteme dönüşmüştür.

Kullanıcı kültürü açısından bakıldığında, IoT bireylerin günlük yaşam pratiklerini, medya tüketim biçimlerini ve toplumsal iletişim süreçlerini yeniden yapılandırmaktadır. Kullanıcıların sürekli veri üretmesi ve bu verilerin medya platformları tarafından analiz edilerek geri

beslenmesi, “katılımcı kültür” (Jenkins, 2006) kavramını güçlendirmektedir. Ayrıca IoT’nin sunduğu sürekli bağlantı ve özelleştirilmiş deneyimler, bireylerde yeni bir “dijital aidiyet” ve “bağlantısallık kültürü” (van Dijck, 2013) oluşturmuştur. Bu kültür, kullanıcıların hem bireysel hem de toplumsal düzeyde medya ile kurdukları ilişkileri yeniden tanımlamaktadır.

2.3.2. Dijital Eşitsizlik, Veri Güvenliği ve Mahremiyet Tartışmaları

Dijital eşitsizlik, teknolojik erişim, kullanım ve beceri farklılıklarının sosyoekonomik uçurumları derinleştirdiği bir olgudur. Van Dijk (2020), bu kavramı dört boyutta ele alır: altyapı erişimi, dijital okuryazarlık, kullanım yoğunluğu ve sosyal etki. Örneğin, Afrika’da kırsal bölgelerin yalnızca %28’i geniş bant internet erişimine sahipken, bu oran Kuzey Amerika’da %89’dur (ITU, 2022). Türkiye’de ise TÜİK (2023) verilerine göre, hanehalklarının %82’si internet erişimine sahip olsa da dijital okuryazarlık oranı %45’te kalmaktadır.

Teknolojik uçurum, eğitim ve sağlık hizmetlerinde de belirgindir. UNESCO (2022c), COVID-19 döneminde düşük gelirli ülkelerdeki öğrencilerin %60’ının çevrimiçi eğitime erişemediğini raporlamıştır. Türkiye’de ise EBA (Eğitim Bilişim Ağı) üzerinden yapılan derslere erişim, kırsal kesimlerde altyapı yetersizliği nedeniyle sınırlı kalmıştır (MEB, 2021). Bu durum, dijital eşitsizliğin nesiller arası fırsat kaybına yol açtığını göstermektedir.

Veri güvenliği ve mahremiyet, IoT’nin yaygınlaşmasıyla en kritik politik tartışmalardan biri haline gelmiştir. Helen Nissenbaum (2010), bağlamsal bütünlük (contextual integrity) teorisiyle, veri toplamanın sosyal bağlama uygun olması gerektiğini savunmaktadır. Örneğin, GDPR (Genel Veri Koruma Tüzüğü), kullanıcıların verileri üzerinde kontrol hakkı tanıyarak şeffaflığı zorunlu kılmıştır. Ancak, Cambridge Analytica skandalı gibi olaylar, veri sızıntılarının demokratik süreçleri nasıl manipüle edebileceğini göstermiştir (Cadwalladr ve Graham-Harrison, 2018).

5G ve IoT altyapıları, yüksek bağlantı hızı ve geniş cihaz kapasitesi nedeniyle siber saldırılara açık bir zemin sunmaktadır. Özellikle IoT cihazlarının düşük güvenlik protokolleri, botnet ağları aracılığıyla kitlesel DDoS saldırılarını kolaylaştırmaktadır. 2016 yılında Mirai botneti, 600.000 IoT cihazını ele geçirerek Twitter, Netflix ve Reddit gibi platformları çökerterek kritik bir güvenlik zaafiyetini ortaya çıkarmıştır (Antonakakis vd., 2017). 6G'nin yapay zekâ tabanlı ağ yönetimi, bu tür saldırıları önlemede umut vaat etse de kuantum hesaplama tehditleri yeni riskler doğurmaktadır (Chen vd., 2022).

Türkiye’de, akıllı şehir projelerinde kullanılan IoT sensörlerinin %40’ının temel şifreleme standartlarından yoksun olduğu BTK raporlarıyla belgelenmiştir (BTK, 2023a). Bu durum,

enerji şebekeleri ve ulaşım sistemleri gibi kritik altyapıların siber sabotaj riskini artırmaktadır. Örneğin, İstanbul'daki bir akıllı trafik sistemine yönelik fidye yazılım saldırısı, şehrin ulaşım ağını 12 saat boyunca felç etmiştir (BTK, 2023c).

Otonom araçlarda meydana gelen kazalarda hukuki sorumluluk belirsizliği, etik tartışmaları alevlendirmektedir. Avrupa Parlamentosu, 2023'te kabul ettiği Yapay Zekâ Sorumluluk Direktifi ile üreticilerin algoritmik hatalardan doğan zararlardan sorumlu tutulmasını öngörmektedir (EU Parliament, 2023). Buna karşın, Tesla'nın otonom sürüş sistemindeki bir kazada mahkeme, sürücüyü sorumlu tutarak mevzuattaki boşluğu ortaya çıkarmıştır (Reuters, 2023).

Türkiye'de ise Kişisel Verileri Koruma Kanunu (KVKK), 2016'da yürürlüğe girmesine rağmen uygulamada eksiklikler mevcuttur. Örneğin, bir e-ticaret platformunun 5 milyon kullanıcı verisinin sızması, KVKK'nın yaptırımlarının yetersizliğini ortaya koymuştur (KVKK Kurumu, 2022). IEEE (2023) raporları, IoT cihazlarının %70'inin temel şifreleme protokollerinden yoksun olduğunu belirterek küresel ölçekte acil önlem çağrısı yapmaktadır.

Altıncı nesil kablosuz iletişim teknolojisi (6G), Nesnelerin İnterneti (IoT) ekosisteminde ölçeklenebilir bağlantı, terabit seviyesinde veri hızları ve milisaniye altı gecikme süreleriyle önemli bir dönüşüm potansiyeli taşımaktadır (Giordani, Polese, & Zorzi, 2020). Bu özellikler, akıllı şehirlerdeki gerçek zamanlı veri işleme, endüstriyel otomasyon sistemlerinin optimizasyonu ve uzaktan cerrahi gibi kritik uygulamalar için temel bir altyapı sağlamaktadır (Saad vd., 2020). Ancak, 6G'nin IoT ile entegrasyonu, heterojen cihaz yoğunluğu ve hiper-bağlantılı mimari nedeniyle güvenlik ve mahremiyet açısından yeni riskleri de beraberinde getirmektedir (Hussain vd., 2021).

IoT cihazlarının sayısının 2030 yılına kadar 50 milyarı aşması beklenirken (Statista, 2023), bu cihazların sınırlı işlem kapasitesi ve enerji kısıtlamaları, geleneksel kriptografik protokollerin uygulanmasını engellemektedir (Al-Fuqaha vd., 2015). Özellikle düşük güçlü IoT sensörlerinde veri bütünlüğünün sağlanması ve kimlik doğrulama mekanizmalarının güvenliği, literatürde sıklıkla vurgulanan bir zorluk olarak öne çıkmaktaktadır (Lin vd., 2022). Ayrıca, 6G'nin dağıtık bulut ve yapay zeka (YZ) tabanlı ağ yönetimi gibi özellikleri, verilerin çoklu erişim noktaları üzerinden işlenmesine yol açmakta ve bu durum veri sızıntısı riskini artırmaktadır (Lu vd., 2022). Güvenlik açıklarının yanı sıra, IoT cihazlarının topladığı kişisel verilerin anonimleştirilmesindeki eksiklikler, mahremiyet ihlallerini önemli bir tehdit haline getirmektedir. Örneğin, Giordano vd. (2023), 5G/6G ağlarında konum tabanlı veri sızıntılarının sosyal mühendislik saldırılarını tetikleyebileceğini deneysel olarak göstermiştir. Benzer

şekilde, dağıtık yapay zekâ modellerinin eğitim sürecinde kullanılan verilerin kötü niyetli aktörler tarafından manipüle edilmesi, sistemlerin bütünlüğünü tehdit etmektedir (Yang vd., 2019).

Bu zorlukların üstesinden gelmek için, 6G destekli IoT ekosistemlerinde kuantum dirençli şifreleme (NIST, 2022), YZ tabanlı anomali tespit algoritmaları (Ahmed vd., 2021), ve blok zinciri (Blockchain) destekli kimlik yönetimi (Ali vd., 2022) gibi yenilikçi çözümler önerilmektedir. Özellikle, federatif öğrenme (federated learning) teknikleri, merkezi olmayan veri işleme sayesinde mahremiyet korumasını güçlendirebilmektedir. (Li vd., 2020). Ancak, bu teknolojilerin etkinliği, düzenleyici çerçevelerin dinamik tehditlere uyum sağlayacak şekilde güncellenmesine bağlı kalmaktadır (ITU-T, 2021).

Nesnelerin İnterneti (IoT) ve 6G teknolojilerinin entegrasyonu, bağlantı kapasitesi ve veri hızlarında devrim yaratırken, beraberinde heterojen cihaz yoğunluğu, artırılmış saldırı yüzeyi ve veri mahremiyeti ihlalleri gibi kritik güvenlik risklerini de beraberinde getirmektedir (Hussain vd., 2021). IoT cihazlarının 2030 yılına kadar 50 milyarı aşması beklenen küresel ölçekteki yaygınlığı (Statista, 2023), özellikle düşük güçlü ve sınırlı işlem kapasiteli cihazların geleneksel kriptografik protokolleri destekleyememesi nedeniyle güvenlik açıklarını derinleştirmektedir (Al-Fuqaha vd.2015). Bu durum, kimlik avı saldırıları, cihaz ele geçirme (device hijacking) ve veri bütünlüğünün bozulması gibi tehditleri tetiklemektedir (Lin vd., 2022). Ayrıca, 6G'nin sağladığı yüksek bant genişliği ve dağıtık bulut mimarisi, verilerin çoklu erişim noktaları üzerinden işlenmesine yol açarak veri sızıntısı riskini artırmaktadır (Lu vd., 2022) Özellikle konum tabanlı kişisel verilerin anonimleştirilmesindeki eksiklikler sosyal mühendislik saldırılarını kolaylaştırmaktadır (Giordano vd., 2023). Yapay zeka tabanlı ağ yönetim sistemleri bile, kötü niyetli aktörlerin federatif öğrenme süreçlerine sızmasıyla manipüle edilebilmekte ve sistem bütünlüğünü tehlikeye sokmaktadır. (Yang vd., 2019). Bu riskleri hafifletmek için kuantum dirençli şifreleme (NIST, 2022) ve blok zinciri (Blockchain) destekli kimlik yönetimi (Ali vd., 2022) gibi yenilikçi yaklaşımlar önerilse de düzenleyici çerçevelerin dinamik tehditlere uyum sağlayacak şekilde güncellenmesi gerekliliği vurgulanmaktadır (ITU-T, 2021).

Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarının sayısındaki hızlı artış, bu sistemlerin güvenlik ve gizlilik açısından ciddi zorluklarla karşılaşmasına neden olmaktadır. 5G ve 6G teknolojileri, IoT ekosistemine gelişmiş bağlantı olanakları sunarken, aynı zamanda daha karmaşık güvenlik tehditlerini ve mahremiyet sorunlarını da beraberinde getirmiş bulundurmaktadır. IoT cihazlarının tasarımı, üretimi ve kullanımı süreçlerinde çeşitli güvenlik açıkları ortaya

çıkmaktadır. Bu cihazlar genellikle sınırlı işlem gücüne ve enerji kapasitesine sahip olduğundan, güçlü şifreleme tekniklerinin ve güvenlik protokollerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır (Sicari vd., 2015). Ayrıca, pek çok IoT cihazı güvenlik yamaları ya da yazılım güncellemeleri almamakta, bu durum da cihazların bilinen güvenlik açıklarına karşı savunmasız kalmasına neden olmaktadır. Öte yandan, fabrika çıkışı gelen varsayılan şifrelerin kullanıcılar tarafından değiştirilmemesi, bu cihazları saldırganların kolay hedefi haline getirmektedir. IoT sistemlerinin birçok üretici ve ağ ile entegre olması da güvenlik standartlarının tutarlılığını zorlaştırmaktadır.

5G ve 6G ağlarının IoT sistemlerinin entegrasyonu, güvenlik risklerinin daha da karmaşık hale gelmesine neden olmuştur. Bu bağlamda, özellikle ağa yönelik saldırılar önemli bir tehdit oluşturmaktadır. IoT cihazlarından oluşan botnet ağları, 5G ve 6G altyapılarına saldırarak dağıtık hizmet engelleme (DDoS) saldırıları gerçekleştirebilir ve bu durum hizmet kesintilerine yol açabilir. Ayrıca, bu yüksek bağlantı kapasitesine sahip ağlarda yetkisiz erişim riskleri de artış göstermektedir. IoT cihazları tarafından toplanan büyük veri kümeleri, saldırganlar için değerli birer hedef olup, bu verilerin çalınması veya değiştirilmesi durumunda ciddi gizlilik ihlalleri yaşanabilmektedir (Roman vd., 2011). Fiziksel erişime sahip saldırganlar, IoT cihazlarının güç tüketimi ya da elektromanyetik yayılım gibi yan kanallarından yararlanarak bilgi sızdırma amacıyla yan kanal saldırıları gerçekleştirebilmektedir. Bu tür riskler bağlamında, yeni nesil ağlar içerisinde mahremiyetin korunması önemli bir sorumluluk haline gelmiştir. IoT sistemlerinde mahremiyetin güvence altına alınması, kullanıcı verilerinin yetkisiz erişimlerden ve izinsiz kullanımlardan korunmasını gerektirmektedir.

2.3.3. Küresel ve Ulusal Düzeyde Regülasyonlar ve Politikalar

Teknolojik dönüşüm sürecinde özellikle 5G/6G ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi ileri teknolojilerin gelişimiyle birlikte, veri güvenliği ve regülasyonlara uyum önemli bir gündem maddesi haline gelmiştir. Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR), IoT cihazlarının topladığı kişisel verilerin işlenmesinde şeffaflık ve kullanıcı onayını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, Google Nest'in ses kayıt özelliğinin Avrupa Birliği vatandaşları için varsayılan olarak kapalı gelmesi, GDPR'ın uygulamadaki etkisini göstermektedir (GDPR.eu, 2023). Türkiye'de ise Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK), GDPR'a kıyasla daha esnek bir yapı sunmakta ve bu durum, veri ihlali durumunda karşılaşılacak yaptırımların şiddetini düşürmektedir (KVKK Kurumu, 2022). Örneğin, bir Türk e-ticaret şirketi, müşteri verilerini Amazon Web Services (AWS) sunucularında depolarken GDPR'a uyum amacıyla ek şifreleme katmanları kullanmıştır (AWS, 2023).

IoT ekosisteminde güvenli veri iletimi sağlama amacıyla kullanılan bir diğer önemli teknoloji blockchain'dir. Merkeziyetsiz ve şeffaf yapısıyla öne çıkan blockchain teknolojisi, cihazlar arası güvenli bağlantılar kurmaktadır. Örneğin, IBM'in geliştirdiği Hyperledger Fabric platformu, tedarik zincirinde yer alan IoT sensörlerinden gelen verilerin bütünlüğünü blockchain tabanlı sistemler ile doğrulayarak sahteciliği %90 oranında azaltmıştır (IBM, 2021). 6G teknolojilerinde ise kuantum dirençli blockchain protokollerinin geliştirilmesiyle birlikte, veri iletiminin hem daha güvenli hem de hızlı hale getirilmesi amaçlanmıştır (Nakamoto, 2022). Türkiye'de bu kapsamda TÜBİTAK tarafından geliştirilen Ulusal Blockchain Altyapısı, sağlık sektöründeki IoT cihazlarının hasta verilerini şifreli biçimde paylaşmasını mümkün kılmış ve bu sayede veri ihlali riskini %70 oranında azaltmıştır (TÜBİTAK, 2023).

Dijital dönüşüm süreci yalnızca teknolojik düzeyde değil, aynı zamanda politik düzlemde de çeşitli stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri Federal İletişim Komisyonu (FCC), 6G spektrum tahsisi konusunda Çin merkezli Huawei ve ZTE gibi firmaları güvenlik riskleri nedeniyle yasaklamış ve "National Strategy to Secure 5G" belgesi kapsamında kritik altyapıların korunmasına yönelik hedefler belirlemiştir (FCC, 2023). Avrupa Birliği ise bu durumu "Avrupa 6G Vizyonu" çerçevesinde açık kaynak ve çevre dostu teknoloji temelli bir altyapıyı teşvik etmektedir. Bu strateji doğrultusunda Huawei'ye getirilen kısıtlamalar, Avrupa menşeli Ericsson ve Nokia gibi firmaların bölgedeki pazar payını artırmıştır (EC, 2023). Çin, "Made in China 2025" stratejisi kapsamında 6G alanında küresel liderliği hedeflemekte ve devlet destekli Huawei firması, 6G prototipini 2023 yılı itibarıyla test etmeyi makul görmüştür (Xinhua, 2023).

Türkiye özelinde ise 2023-2030 Ulusal Yapay Zeka Stratejisi kapsamında yerli 5G ve 6G altyapısının güçlendirilmesi öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. ULAK baz istasyonları, %75 oranında yerli üretimle 2023 yılı itibarıyla 50.000'inci ünitesine ulaşmıştır (BTK, 2023b). TÜBİTAK'ın Milli 6G İnisiyatifi, kuantum iletişimi ve yapay zekâ tabanlı ağ yönetimi üzerine odaklanmakta ve 2030 yılına kadar bu teknolojilerin ticarileşmesini planlamaktadır (TÜBİTAK, 2023). Bu doğrultuda, Turkcell ve ASELSAN iş birliğiyle geliştirilen yerli 5G baz istasyonları Ankara ve İstanbul gibi büyük şehirlerde devreye alınmıştır (Turkcell, 2023).

2.4. 5G, 6G ve Nesnelerin İnterneti (IoT): 2020 Sonrası Bölgesel ve Sektörel Teknoloji Uygulamaları

2020 sonrası dönemde küresel ölçekte 5G, 6G ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerinin sağlık, ulaşım, savunma, sanayi, enerji, akıllı şehir ve tarım gibi pek çok sektörde uygulama alanı bulduğu görülmektedir. Bu teknolojilerin bölgesel stratejilere göre farklılaştığı, teknolojik

derinlik düzeylerine ve yerel ihtiyaçlara göre çeşitli şekillerde benimsendiği dikkat çekmektedir.

Türkiye özelinde, Türk Telekom iş birliğiyle gerçekleştirilen 5G destekli uzaktan cerrahi uygulamaları, ülkenin sağlık sektöründe dijitalleşmeye verdiği önemi ortaya koymaktadır. ULAK ve Türksat tarafından yürütülen İstanbul 5G Akıllı Ulaşım Koridoru projesi, akıllı ulaşım çözümlerinin entegrasyonuna yönelik önemli bir adım niteliğindedir. Ayrıca Konya Büyükşehir Belediyesi'nin yürüttüğü 132 farklı akıllı şehir projesi, yerel yönetimlerin dijitalleşme süreçlerine olan katkısını göstermektedir. Sanayi alanında ise, Arçelik'in özel 5G ağı kurarak hayata geçirdiği fabrika uygulaması, üretim süreçlerinin dijital altyapı ile desteklenmesinin örneği olarak öne çıkmaktadır.

5G teknolojisi, küresel ölçekte hızla yayılarak iletişim altyapılarını dönüştürmektedir. Dünya genelinde, Güney Kore (SK Telecom) ve ABD (Verizon, AT&T) gibi öncü ülkeler, mmWave (24-100 GHz) ve orta bant (3.5 GHz) frekansları kullanarak yüksek hızlı 5G ağlarını ticarileştirmiştir. Ericsson ve Huawei, ağ dilimleme ve Massive MIMO tabanlı pilot projelerle fabrika otomasyonunda %30 enerji tasarrufu sağlamıştır (GSMA Intelligence, 2023). Ericsson ve Huawei gibi şirketler, endüstriyel IoT ve akıllı şehirler için ağ dilimleme (network slicing) ve Massive MIMO teknolojilerini entegre eden pilot projeler geliştirmiştir (GSMA, 2023)."Ericsson'un Almanya'da gerçekleştirdiği 5G fabrika otomasyonu projesi, ağ dilimleme ile üretim verimliliğini %25 arttırmıştır (GSMA Intelligence, 2023). Avrupa Birliği, Hexa-X projesi ile 6G'ye hazırlık kapsamında 5G'nin sınırlarını zorlamaktadır. Hexa-X projesi, 5G'nin sınırlarını aşmak için AI tabanlı ağ optimizasyonu ve terahertz (THz) frekansları üzerinde çalışmaktadır. Bu proje, 5G'yi temel alarak enerji verimliliği ve holografik iletişim gibi 6G hedeflerine odaklanmaktadır (Uusitalo ve Strinati, 2023, s.89). Türkiye'de ise Türk Telekom, Turkcell ve Vodafone, 2023'te başlayan 5G testlerinde 3.5 GHz bandı ve yerli baz istasyonları (UTRAS) ile düşük gecikmeli IoT uygulamalarını test etmektedir.

TÜBİTAK ve ASELSAN iş birliğiyle geliştirilen milli 5G çipi, enerji verimliliği ve güvenlik odaklı tasarımlarıyla öne çıkmaktadır (BTK, 2023a). TÜBİTAK BİLGEM tarafından geliştirilen milli 5G çipi, 7 nm teknolojisiyle enerji tüketimini %35 azaltmaktayken, kuantum dirençli şifreleme protokolleriyle siber saldırılara karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Bu çip, akıllı şebeke ve savunma IoT sistemlerinde kullanılmak üzere test edilmektedir (TÜBİTAK BİLGEM ve ASELSAN, 2023). Öte yandan ASELSAN'ın milli 5G çipi, enerji verimliliği açısından Qualcomm Snapdragon X65 ile rekabet edebilecek düzeyde performans sergilemektedir (TÜBİTAK BİLGEM e ASELSAN, 2023). Türk Telekom ve Turkcell, 3.5

GHz bandında gerçekleştirdikleri 5G testlerinde 1 ms altında gecikme ve 1 Gbps veri hızına ulaşmıştır. ASELSAN ve TÜBİTAK iş birliğiyle geliştirilen milli 5G çipi, askeri ve sivil IoT uygulamalarında şifreleme performansını %40 artırmıştır (BTK, 2023d). Ancak, altyapı maliyetleri ve spektrum tahsisindeki gecikmeler, Türkiye'nin küresel 5G yarışında tam anlamıyla konumlanmasını engelleyen başlıca zorluklardır. Türkiye'de 5G'nin yaygınlaşması, spektrum tahsisindeki gecikmeler ve altyapı maliyetleri nedeniyle yavaş ilerlemektedir. 3.5 GHz bandının sivil kullanıma açılmasındaki askeri kısıtlamalar, operatörlerin test süreçlerini uzatmaktadır (Bayraktar ve Koç, 2023). Türkiye'de 3.5 GHz bandının askeri kullanım nedeniyle kısıtlı olması, 5G ticarileşmesini 2025 sonrasına ötelemektedir (Bayraktar ve Koç, 2023).

Uzak Doğu ülkelerinde de benzer şekilde kapsamlı uygulamalar mevcuttur. Çin, 5G destekli uzaktan cerrahi operasyonlar ve tarım robotları ile hem sağlık hem de tarım sektörlerinde dijital teknolojileri etkin biçimde kullanmaktadır. Japonya'da 5G teknolojisine dayalı robot destekli sağlık hizmetleri ile Woven City gibi entegre akıllı şehir projeleri dikkat çekmektedir. Güney Kore, Songdo Akıllı Şehri ve 5G ile entegre edilmiş ambulans sistemleri sayesinde acil müdahalede etkinlik kazanırken, aynı zamanda 5G destekli askeri eğitim çözümleriyle savunma alanında da yenilikçi uygulamalara öncülük etmektedir.

Avrupa ve ABD örnekleri de bu küresel eğilime paralel gelişmeler sunmaktadır. Almanya'da 5G destekli trafik sinyalizasyonu ve akıllı kavşak sistemleri ile ulaştırma altyapısı modernize edilmekte; İngiltere'de ise 5G teknolojisiyle kontrol edilen robotik cerrahiler uygulanmaktadır. Avrupa Komisyonu'nun desteklediği 5G-HEART ve 5G-MOBIX projeleri, kıta genelinde sağlık ve mobilite alanlarındaki dönüşüm süreçlerini hızlandırmayı hedeflemektedir. Bu örnekler, 5G ve ilgili teknolojilerin yalnızca iletişim alanında değil, çok çeşitli sektörlerde dönüşüm yarattığını ortaya koymaktadır.

İletişim alanındaki bu önemli gelişmeler dikkate alınarak, çalışmada, Türkiye, Uzak Doğu (Çin, Japonya, Güney Kore vb.), Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri bölgelerinde 2020 sonrası dönemde 5G, 6G ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerinin kullanıldığı güncel uygulama örnekleri araştırılmış ve değerlendirilmişir. Bu bağlamda ele alınan her bölgedeki sağlık, ulaşım, savunma, akıllı şehirler, sanayi/ üretim, tarım ve enerji gibi sektörlerdeki örnek projeler irdelenmiştir. Ele alınan her bir örnek, mevcut uygulamanın amacı, teknolojinin rolü ve sağladığı faydalar yönüyle de incelenerek ve temel niteliklerinin altı çizilmiştir.

5G teknolojisinin uygulama alanı bulduğu ve gün geçtikte bu alanların arttığı gözlemlenen Türkiye'de sağlık alanının başat rollerden birini üstlendiği görülmektedir. Sağlık sektörü

uygulamasında; uzaktan cerrahi (tele-tıp) – Türk Telekom 5G ile çevrim içi ameliyat türü uygulamalar daha 2021 yılından itibaren uygulanmaya başlamıştır. Türk doktorlar, 5G bağlantılı akıllı gözlükler üzerinden farklı şehirlerdeki cerrahları aynı ameliyat ortamında buluşturmayı başarmışlardır (Cem, 2021). Ankara'da özel bir hastanede gerçekleştirilen uzaktan ameliyatta 5G'nin yüksek bant genişliği ve düşük gecikmesi sayesinde cerrahlar hastalarını gerçek zamanlı olarak ameliyat edebilmiştir. Bu, Türkiye'de bir ilk olup tele-tıp alanında 5G'nin potansiyelini göstermiştir. Uygulamanın amacı, coğrafi engelleri aşarak uzman cerrahların uzaktaki hastalara müdahale edebilmesini sağlamak ve acil durumlarda hayat kurtarmaktadır. Örneğin, 5G sayesinde anlık gecikmeler ortadan kalktığı için cerrahlar farklı şehirlerdeki hastalara gerçek zamanlı operasyon yapabilmiştir.

5G teknolojisinin yaygın olarak hayata geçirildiği bir başka alan da ulaşım ve akıllı ulaşım uygulamalarında olmuştur. İstanbul 5G Akıllı Ulaşım Koridoru, 2025 yılında Türkiye'nin yerli haberleşme şirketi ULAK Haberleşme ile uydu operatörü Türksat'ın iş birliğiyle İstanbul'da 40 km'lik Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemi (K-AUS) koridoru kurulmasına başlanmıştır. Bu proje kapsamında İstanbul Hasdal Kavşağı ile İstanbul Havalimanı arasında 19 adet 5G baz istasyonu içeren özel bir şebeke oluşturulması planlanmıştır. Proje tamamlandığında araçtan araca (V2V) ve araçtan altyapıya (V2I) anlık iletişim sayesinde araçlar ile trafik sinyalizasyonu ve yol sistemleri arasında yüksek hızlı, düşük gecikmeli ve güvenli veri alışverişi mümkün olacaktır. Hedef, şehir içi ulaşımda trafik güvenliğini ve akışkanlığını artırmak, otonom ve bağlantılı araçlar için gerekli altyapıyı hazırlamaktır. Proje, geleceğin akıllı ulaşım ekosistemine öncülük edecek bir pilot uygulama olarak tanıtılmıştır (Bodur ve Çankaya, 2025).

Savunma ve güvenlik uygulamalarında yerli 5G Haberleşme Altyapısı (Uçtan Uca 5G), Türk savunma sanayii, güvenli ve milli iletişim için 5G teknolojisine yatırım yapmaktadır. HAVELSAN koordinasyonunda yürütülen "Uçtan Uca Yerli ve Milli 5G Şebeke Projesi" kapsamında 2020'de ilk kez tamamen yerli 5G çekirdek şebeke ve baz istasyonları entegre edilerek gerçek 5G bağlantı testleri yapılmıştır (Şahbaz ve Keçili, 2025). Bu testlerde HAVELSAN ve iş ortaklarının geliştirdiği 5G çekirdek, Turkcell laboratuvarındaki 5G baz istasyonuna başarıyla bağlanmış; ticari bir 5G telefon üzerinden kesintisiz görüşme gerçekleştirilmiştir. Bu gelişme, savunma sanayii için kritik iletişim altyapısının yerli olarak kurulmasına zemin hazırlamaktadır. Savunma amacıyla, 5G'nin yüksek hız ve düşük gecikmesinden faydalanarak harp sahasında gerçek zamanlı veri iletimi, otonom araç ve dron filolarının koordinasyonu, artırılmış gerçeklikle asker eğitimi gibi konularda Ar-Ge çalışmaları sürmektedir. Örneğin ASELSAN, 5G tabanlı taktik haberleşme sistemleri ve IoT sensör

ağlarıyla birliklere anlık durum farkındalığı kazandıracak çözümler üzerinde çalıştığını açıklamıştır. Bu adımlar, TSK'nın gelecekte 6G ve ötesi teknolojilere hazır olmasına da katkı sunmaktadır.

Akıllı şehir uygulamalarında Konya Büyükşehir Belediyesi'nin 132 Akıllı Şehir Uygulaması Konya'yı Türkiye'de akıllı şehircilik alanında öncü konuma getirmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı verilerine göre Konya, 2020'den 2023'e dört yıl üst üste Türkiye Akıllı Şehir Olgunluk Endeksi'nde birinci olmuştur (Ayyarkın ve Bayram, 2023). Konya Büyükşehir Belediyesi, yerli ve milli kaynaklarla hazırlanan Akıllı Şehir Stratejisi ve Yol Haritası doğrultusunda 20'den fazla alanda (ulaşım, çevre, enerji, atık, bilişim vb.) toplam 132 akıllı şehir uygulaması gerçekleştirmiştir. Bu projeler arasında akıllı kavşak yönetimi, akıllı sokak aydınlatması, akıllı sulama sistemleri, şehir genelinde hava kalitesi ve gürültü sensörleri, akıllı atık toplama sistemleri gibi IoT tabanlı çözümler bulunmaktadır. Örneğin, Konya'nın kurduğu "Akıllı Şehir Bilgi Sistemi (Konya Akıllı Şehir Platformu)" ile şehirdeki tüm IoT sensörlerinden gelen veriler tek merkezde toplanmakta; ulaşımdan enerjiye farklı belediye hizmetleri gerçek zamanlı veriye dayalı olarak yönetilmektedir. Bu sayede kaynak tasarrufu (%20'ye varan enerji ve su tasarrufu), çevresel izleme ve hızlı karar alma mekanizmaları geliştirilmiştir. Konya örneği, Türkiye'de akıllı şehir teknolojilerinin bütüncül kullanımına başarılı bir model oluşturmaktadır (Konya ulusal şehir endeksinde 4 yıldır zirvede, 2024).

5G teknolojisinin uygulamaya geçirilmesinde özel sektöründe aktif bir tutum takındığı görülmektedir. Örneğin, sanayi ve üretim (Endüstri 4.0) uygulamalarında Arçelik, 5G Fabrika (Özel 5G Şebekesi) mottosuyla önemli bir adım atmıştır. Türk beyaz eşya üreticisi Arçelik, Haziran 2021'de Türkiye'nin ilk 5G'ye hazır özel kablosuz fabrika ağını kurmak için Nokia ve Türk Telekom ile stratejik ortaklık anlaşması imzalamıştır. İstanbul Çayırova'daki Arçelik çamaşır makinesi fabrikasında kurulan bu endüstriyel 5G altyapısı, üretim hatlarındaki makineleri ve robotları gerçek zamanlı olarak birbirine bağlamaktadır (Koska, 2025). Özel 4.5G/5G kablosuz ağ, fabrika içinde otomatik yönlendirilen araçların (AGV) yüksek güvenilirlikli ve düşük gecikmeli iletişimini sağlamakta; böylece malzeme taşımada hız ve verim artışı elde edilmektedir. Ayrıca iç mekân konumlandırma sistemi ile varlık takibi yapılmakta, yüksek çözünürlüklü kameralarla kalite kontrol verileri anında analiz edilebilmektedir. Bu 5G tabanlı dijital dönüşüm sayesinde Arçelik, üretim süreçlerinde esneklik kazanmış ve Endüstri 4.0 senaryolarını gerçeğe dönüştürme yolunda önemli adım atmıştır. Proje, Türkiye'de sanayide 5G kullanımına öncülük eden bir pilot uygulama niteliği taşımaktadır.

Yine Türk Telekom şirketi, tarım ve akıllı tarım uygulamalarında 5G Akıllı Tarım Projesini hayata geçirmek üzere harekete geçmiştir. Aralık 2024'te Türk Telekom, telekomünikasyon ve ağ sektöründe olan Çinli ZTE ile iş birliği yaparak Çorum ilinde 5G Akıllı Tarım Projesi başlatmıştır. Bu pilot proje kapsamında Karadeniz bölgesindeki 12.000 dekarlık bir tarım arazisinde 5G şebekesi kurulmuş; insansız hava araçları ve akıllı tarım makineleri yüksek hızlı 5G bağlantısına entegre edilmiştir. 5G'nin düşük gecikme ve yüksek bant genişliği sayesinde tarlalarda otomatik ilaçlama, gübreleme ve kesin konumlu sulama işlemleri uzaktan ve otonom olarak gerçekleştirilebilmektedir. Örneğin, 5G kontrollü insansız traktörler ve ilaçlama dronları, operatör müdahalesine gerek kalmadan ekinlere hassas dozlarda gübre ve su uygulaması yapmaktadır. İlk sonuçlara göre bu teknoloji, tarımda verimliliği ve kaynak tasarrufunu önemli ölçüde artırmıştır. Proje sayesinde hem teknolojik kabiliyetler güçlenmekte hem de sürdürülebilir tarım hedeflerine katkı sağlanmaktadır. Bu yenilikçi uygulama, Türkiye'de akıllı tarım alanında 5G'nin potansiyelini gösteren öncü örneklerden biri olmuştur (Ogrady, 2024).

Türkiye'nin önde gelen elektrik dağıtım şirketi Enerjisa Enerji de 2021'de Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) ile 110 milyon Amerikan doları tutarında yeşil finansman anlaşması yaparak şebeke modernizasyonuna başlamıştır. Bu yatırım kapsamında Enerjisa, elektrik dağıtım altyapısına akıllı şebeke sistemleri ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gerçekleştirmektedir (Yüksel, 2021). Özellikle dağıtım bölgelerinde akıllı sayaçlar yaygınlaştırılmakta ve IoT tabanlı şebeke izleme cihazları kurulmaktadır. Bu sayede gerçek zamanlı enerji izleme, kaçak tespiti, uzaktan açma-kapama gibi işlemler mümkün hale gelmektedir. Enerjisa'nın açıklamasına göre dijitalleşme ve akıllı şebeke uygulamaları, 21 milyon kullanıcıya daha sürdürülebilir ve kaliteli enerji hizmeti sunma hedefini desteklemektedir. Proje, Türkiye'nin elektrik altyapısının IoT ve 5G gibi yeni nesil teknolojilerle güçlendirilmesine yönelik önemli bir adımdır (Yüksel, 2021).

5G uygulamalarının dünyadaki örnekleri irdelenirken konu bölgeler bazında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda Uzak Doğu, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) olarak üç ana bölgeye odaklanılmıştır. Bu kategoriler belirlenirken ülkelerin teknoloji üretme ve kullanma yetenekleri ve uygulamaların yaygınlığı göz önünde bulundurulmuştur.

a. Uzak Doğu (Çin, Japonya, Güney Kore vb.) bölgesindeki uygulamalar

Uzak Doğu'da da ilk dikkat çeken uygulamaların özellikle sağlık alanındaki yaygınlığıdır. Örneğin, Güney Kore 5G ve yapay zekâdan yararlanma yoluyla, güçlü telekom altyapısını sağlık hizmetlerine entegre etmeye başlamıştır. Korea Telecom (KT) 2019 sonunda ulusal

itfaiye teşkilatı ve bir üniversite hastanesiyle iş birliği yaparak 5G tabanlı bir acil yardım sistemi geliştirmiştir. Bu sistem kapsamında ambulanslar, 5G bağlantılı sistemlerle donatılmış; ambulans içindeki kameralar ve tıbbi cihazlar sayesinde hasta verileri ve canlı görüntüler anbean hastaneye iletilmeye başlanmıştır. Bu uygulama sayesinde hastanedeki doktorlar da ambulanstaki sağlık ekibini yönlendirerek kritik müdahaleleri vakit kaybetmeden yaptırabilme imkânı elde etmiştir. Pilot uygulama altı şehirde başarıyla denenip ülke geneline yaygınlaştırılmıştır. Bunun sonucunda ambulanslarda hastaya müdahale "altın saat" içinde daha etkili yapılabilir hale gelmiştir. Ayrıca Güney Kore'de 5G ve AI destekli akıllı karantina ve salgın izleme sistemleri de geliştirilmiştir. COVID-19 sırasında, pozitif vakaların temas zincirini IoT sensörlerinden (kredi kartı hareketleri, CCTV kameraları vb.) toplanan verilerle hızla belirleyen sistemler kullanılmıştır. Güney Kore Sağlık Bakanlığı, 2025'e kadar tüm büyük hastaneleri 5G altyapısıyla donatmayı, VR/AR ile tıp eğitimi, AI ile görüntü analizi gibi ileri uygulamaları hayata geçirmeyi planlamaktadır (Hongpei, 2022).

Güney Kore, 2021'de özel 5G frekanslarını endüstriyel kullanım için tahsis ederek sanayi ve üretim uygulamalarında şirketlerin kendi 5G ağlarını kurmasının önünü açmıştır. 2022'den itibaren Samsung, LG, Hyundai gibi büyük üreticiler tesislerinde özel sektör 5G ağları devreye alınmaya başlanmıştır. LG U+ operatörü, LG Electronics'in bir fabrikasında 5G akıllı üretim sistemi kurarak robotları, PLC kontrolörlerini ve sensörleri birbirine bağlamıştır. Sonuç olarak da veri toplama hızı ve üretim hattı senkronizasyonunda büyük iyileşme sağlanmıştır. SK Telecom ise Hyundai Mobis ile ortaklaşa, otonom araç parçaları üreten bir tesiste 5G destekli kalite kontrol uygulaması geliştirmiştir. Sistemde yüksek çözünürlüklü kameralar hat üstünde ürünleri tarayıp 5G ile buluta göndermekte, AI yolu ile hatalar anında saptanmaktadır.

Öte yandan, Güney Kore resmi hedefleri doğrultusunda 2025 yılına kadar 30.000 akıllı fabrika kurmayı planlamaktadır (Son, 2024). Bu fabrikalarda IoT sensörleri, bulut tabanlı üretim yönetimi (MES) ve 5G iletişim standart olacaktır. Devlet teşvikleriyle KOBİ'ler dahi düşük maliyetli 5G çözümlerine erişip üretimde dijitalleşmeyi yakalayabilecektir. Güney Kore'nin güçlü elektronik ve otomotiv sektörü, bu atılım sayesinde verimlilikte yeni bir sıçrama yapmayı amaçlamaktadır (Son, 2024).

Japonya'daki akıllı şehir uygulamalarında en yenilikçi projelerinden biri Toyota firmasının Fuji Dağı eteklerinde inşasına başladığı Woven City (Deneysel Akıllı Şehir) projesidir.-Woven City, 175 dönümlük bir arazi üzerinde kurulacak ve yaklaşık 2.000 kişiye ev sahipliği yapacak tamamen bağlantılı bir şehir prototipidir. 2021'de temeli atılan bu "yaşayan laboratuvar" şehrin ilk etabı 2024 sonunda büyük ölçüde tamamlanmıştır (Ayan ve Uysal, 2020). Woven City'de

tüm binalar, evler ve ulaşım altyapısı sensörler ve yüksek hızlı kablosuz iletişimle örülecektir. 5G/6G altyapısı şehrin sinir sistemi gibi çalışacak; otonom araçlar, robotlar, akıllı ev sistemleri bu ağ üzerinden sürekli veri alışverişi yapacaktır. Örneğin evlerdeki robotik asistanlar (Toyota'nın geliştirdiği yapay zekâ destekli insansı robotlar) IoT sensörleriyle yaşlılara bakım hizmeti sunacak, öğrenerek kullanıcıların ihtiyaçlarını önceden tahmin edebilecektir. Şehirde enerji hidrojenden sağlanacak ve tüm cihazlar akıllı şebekeye bağlı olarak çalışacaktır. Woven City'nin amacı, gerçek bir şehir ortamında en son teknolojileri (sürücüsüz araçlar, drone dağıtım, akıllı tarım, tele-tıp vs.) test etmek ve günlük hayatı iyileştiren çözümler üretmektir. Japonya devleti de bu projeyi desteklemekte ve başarılı olursa ülke geneline ihraç edilebilir bir akıllı şehir modeli olarak görmektedir (Wood, 2025).

5G teknolojisinden en yaygın yararlanan ülkelerin biri de Çin'dir. Çin, tarım ve akıllı tarım uygulamalarında Çin – 5G Otonom Tarım Projeleri, geniş tarım arazilerinde verimliliği artırmak için 5G ve IoT'yi bir arada kullanmaktadır. Jilin eyaletinde ZTE ve China Mobile, yaklaşık 50 milyon m^2 alanda 5G destekli otonom pirinç çiftliği projesi yürütmektedir. Bu proje, verimsiz ve tuzlu-alkali arazilerin verimini artırmak için uzaktan kontrollü makineler ve akıllı sulama sistemleri kullanmaktadır. 5G uzaktan sürüş ve 5G akıllı sulama teknolojileriyle tarlalardaki pH ve nem değerleri sürekli izlenmekte; insansız traktörler, 5G komutlarıyla kendi kendine sürülerek ekim, gübreleme ve hasat yapmaktadır. Çin hükümeti, 2030'a kadar tarım alanlarının %70'inde dijital tarım tekniklerinin kullanılmasını hedeflemektedir (Zte, t.y).

Enerji sektörü uygulamalarında Çin'de sanayi üretiminde dijital dönüşüm süreci, gelişmiş 5G teknolojisinin modern üretim süreçlerine entegre edilmesiyle ivme kazanmıştır. Bu kapsamda, Baoding kentinde faaliyet gösteren Exquisite Automotive fabrikasında, "5G Advanced" adı verilen yeni nesil ağ altyapısıyla desteklenen bir üretim hattı devreye alınmıştır. Sistem, üretim süreçlerinin gerçek zamanlı takibini ve kontrolünü mümkün kılarak operasyonel verimliliği artırmakta, esnek iş akışlarıyla üretim bileşenlerinin yönetimini kolaylaştırmaktadır (Ayan ve Uysal, 2020). China Unicom, Huawei ve EA Automation iş birliğiyle kurulan bu ileri düzey ağ altyapısı sayesinde, gecikme süreleri önemli ölçüde azaltılmış, bu da üretim süreçlerinde hızlı tepki ve yüksek hassasiyet sağlamıştır. Hücresel iletişimdeki kapasite artışıyla birlikte, bu teknoloji yalnızca mevcut sanayi yapısına yenilikçi çözümler sunmakla kalmayıp, aynı zamanda büyük veri temelli uygulamaların ve endüstriyel internet sistemlerinin 6G dönemine geçişteki temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Aytekin, 2023).

Avrupa Birliği'nde de 5G teknolojisinin ilk uygulanmaya başladığı alanlardan biri sağlık sektörüdür. Avrupa'da bu alandaki çalışmalar daha 2020 yılında hayata geçirilmeye

başlanmıştır. Bu bağlamda Avrupa Birliği, 5G'nin sağlık alanındaki kullanımını teşvik eden bir dizi proje yürütmüştür. Horizon 2020 programlı 5G-HEART projesi kapsamında Norveç, Finlandiya ve Hollanda'da 5G destekli uzaktan tıbbi müdahale denemeleri yapılmıştır. Örneğin Norveç'te bir senaryoda, ambulansta bulunan bir paramedik, yaralıya ultrason yaparken başka bir şehirdeki uzman doktor 5G üzerinden yüksek çözünürlüklü canlı yayına bağlanarak paramedike rehberlik etmiştir. Bu uzaktan ultrasound uygulaması tele-sonografi olarak tanımlanmakta ve 5G'nin sinyali neredeyse anlık iletme hızı sayesinde doktor ile paramedik neredeyse gerçek zamanlı etkileşim kurabilmektedir. Benzer şekilde, 5G paramedik desteği senaryoları denenmiştir. Acil müdahale ekipleri kasklarına takılı kameralar aracılığıyla olay yerini 5G ile hastanedeki uzmanlara aktararak anında tavsiye almışlardır. Bu sayede kritik ilk yardım kararları daha hızlı ve doğru verilebilme imkânı ortaya çıkmıştır. Projeye Oslo Üniversite Hastanesi, Philips gibi ortaklar katılmıştır. 5G-TOURS adlı bir diğer AB projesinde ise İtalya'nın Torino kentinde 5G ile uzaktan cerrahi eğitim yayını yapılmıştır. Bir ameliyathanedeki 360° kamera görüntüsü 5G üzerinden bir tıp fakültesindeki sınıfa canlı iletilmiş, cerrahlar öğrencilere anlık açıklamalar yapma fırsatı elde etmişlerdir. Ayrıca İngiltere'de 2020'de gerçekleştirilen bir pilot uygulamada Londra'daki bir cerrah, Edinburgh'deki bir robotik cerrahi kolunu 5G ile kontrol ederek hayvan dokusu üzerinde ince operasyonlar yapmayı denemiştir. Sonuçlar, gecikme olmaksızın hassas hareketlerin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu gibi uygulamalar, Avrupa sağlık sisteminde coğrafi engelleri aşmak ve uzmanlık dağılımını ülke geneline yaymak açısından önem taşır. Avrupa Komisyonu, Dijital Sağlık 2025 stratejisinde 5G ve IoT'nin esağlık çözümlerinin temel altyapısı olacağını vurgulayarak bu alana yatırımları sürdürmektedir (5G Heart, 2021).

Avrupa, kıtalararası ulaşımda 5G ile bağlantılı otonom araçların sorunsuz seyahatini sağlamak amacıyla 5G-CARMEN, 5G-MOBIX, 5GCroCo gibi projeler yürütmüştür. 5G-MOBIX projesi kapsamında Eylül 2022'de İspanya-Portekiz sınırında Tui-Valença Uluslararası Köprüsü üzerinde ilk 5G destekli otonom araç geçiş demonstrasyonu yapılmıştır. Bu gösterimde, otonom bir araç 5G ağı sayesinde iki ülke arasındaki operatör değişiminde bile kesintisiz iletişimle yol aldı; aracın sensör verileri ve video akışı, sınırı geçerken farklı 5G şebekeleri arasında aktarıldı ve kopma yaşanmamıştır. Düşük gecikme ve kesintisiz kapsama ile desteklenen bu senaryoda, aracın karşısına ani bir engel çıktığında yol kenarı sensörleri bunu anında araca bildirdi ve araç güvenli bir şekilde durdu. Projenin amacı, AB genelinde oluşturulacak 5G otoyol koridorlarının fizibilitesini göstermek ve yasal düzenlemelere ışık tutmak olmuştur. Başarıyla sonuçlanan deneme sonrasında AB, 2025'e kadar TEN-T koridorları üzerinde birden fazla ülkeyi geçen 5G

test güzergâhları oluşturma kararı aldı. Bu sayede ileride otonom kamyonların sınırlar arasında duraklamadan iletişim kurarak hareket etmesi, uluslararası trenlerin 5G ile gerçek zamanlı takip ve bakımının yapılması gibi yeniliklerin önü açılmış bulunmaktadır. Ayrıca proje raporlarına göre 5G ile bağlanan araçlar, yol güvenliği, trafik yönetim etkinliği ve sürüş konforu açısından büyük fayda sağlamıştır. Örneğin, kesintisiz iletişim sayesinde sürücüsüz bir tır konvoyu ülke değiştirse bile aynı hız ve takip mesafesiyle düzenini koruyabilmiştir. Bu gelişmeler, Avrupa Komisyonu'nun 2030 hedefleri içinde yer alan otonom ve bağlantılı mobilite vizyonunun gerçekleştirilmesine önemli bir adım teşkil etmektedir.

Savunma ve güvenlik uygulamalarında da Nokia, Telia ve Finlandiya Savunma Kuvvetleri, dünyanın ilk kesintisiz 5G bağımsız dilim transferini birden fazla ülkeyi kapsayan canlı bir ağda başarıyla gerçekleştirmiştir. Mart (2025) ayında Finlandiya'da gerçekleştirilen bu öncü deneme, özellikle savunma ve kritik görev odaklı sektörler için 5G teknolojisinin stratejik potansiyelini ortaya koyan önemli bir dönüm noktası oldu. İskandinav ülkelerini kapsayan askeri tatbikat kapsamında yapılan testte, üç farklı ülkenin üç ayrı ağında hareket edilmesine rağmen, bağımsız bir 5G dilimi aracılığıyla güvenli ve kesintisiz veri bağlantısı sürdürülmüştür. Bu teknoloji, ulusal sınırların ötesinde görev yapan askeri birliklerin, operasyon sırasında hayati öneme sahip uygulama ve hizmetlere sürekli erişimini sağlayarak, modern savunma kabiliyetlerine önemli bir katkı sunmaktadır (Baldock, 2025).

Akıllı şehir uygulamalarında ise Barselona, uzun yıllardır akıllı şehir teknolojilerini uygulayan bir metropol durumundadır. Şehir, Sentilo adlı açık kaynaklı bir IoT platformu üzerinde çalışan 19.000'den fazla aktif sensöre sahiptir. Bu sensörler, gürültü seviyeleri, sıcaklık, hava kalitesi, yaya ve araç trafiği yoğunluğu gibi verileri anlık olarak toplar ve şehir veri merkezine iletir. Elde edilen gerçek zamanlı bilgiler sayesinde Barselona Belediyesi, kaynaklarını daha verimli yönetebilmektedir. Örneğin akıllı sulama sistemi, parklardaki nem sensörlerinin verisine göre sulama yaparak yıllık %25 su tasarrufu sağlamıştır. Akıllı atık konteynerleri, doluluk durumunu IoT ile bildirerek çöp toplama kamyonlarının optimizasyonunu mümkün kılmış, çöp toplama maliyetlerinde %20 azalma ve karbon emisyonunda ciddi düşüş elde edilmiştir. Akıllı aydınlatma ile sokak lambaları, insan ve araç varlığını algılayan sensörlerle donatılarak gece geç saatlerde hareket azaldığında parlaklığı düşürüp %30'a varan enerji tasarrufu yapmaktadır. Barselona ayrıca City OS adını verdiği açık veri altyapısıyla tüm bu sensör ağlarından gelen verileri entegre etmekte hem belediye birimlerine hem de vatandaşlara sunmaktadır. Bu sayede şehirde şeffaflık ve katılım artmıştır. Barselona'nın akıllı şehir atılımları, 2019 yılında kenti

dünya akıllı şehir sıralamasında ön sıralara taşımış; Smart City Expo etkinliğine ev sahipliği yaparak global bir vitrin oluşturmuştur (Inam, 2024).

Almanya ise Endüstri 4.0 kavramının doğduğu ülke olarak, üretim tesislerini IoT ve otonom sistemlerle donatmada öncü rol üstlenmiştir. 2019'da Alman şebeke düzenleyicisinin özel 5G frekans tahsisinden sonra, birçok büyük Alman sanayi şirketi kendi 5G kampüs ağlarını kurdu. Mercedes-Benz bunlardan biri: Eylül 2020'de Sindelfingen'de açılan Factory 56 otomobil fabrikası, Telefónica ve Ericsson iş birliğiyle kurulan özel 5G ağı sayesinde tam entegre dijital üretim sunuyor. Bu tesiste araç montaj hatlarındaki makineler, robotlar ve çalışan tabletleri 5G'ye bağlı ve gerçek zamanlı veri alışverişi yapıyor. Örneğin bir üretim hattında model değişikliği gerektiğinde, eski sistemlerde hat donanımı yeniden kurulurken artık her şey kablosuz ve yazılım kontrollü olduğundan geçiş süresi %30 kısaldı.

Hollanda da "sensör destekli sera tarımı" sloganıyla, sera tarımında dünyanın önde gelen ülkelerinden biri olmuş ve IoT teknolojilerini entegre ederek "Seracılık 4.0" kavramını uygulamaya başlamıştır. Wageningen Üniversitesi liderliğinde yürütülen IoF2020 projesinde, Hollanda'daki bir domates serasında tamamen otonom iklim kontrolü denenmiştir. Sera içindeki yüzlerce kablosuz sensör (ısı, nem, ışık, toprak pH vb.) verileri yapay zekâ destekli bir sisteme aktardı; sistem perdeleri açıp kapayarak, havalandırmaları ve ısıtıcıları çalıştırıp durdurarak en uygun ortamı sağladı. Bu yapay zekâlı sistem, uluslararası bir yarışmada deneyimli insan yetiştiricileri bile geride bırakarak daha az enerjiyle daha yüksek mahsul elde etti. Hollanda ayrıca tarım robotları alanında da IoT'den faydalanıyor: "Sarı beyaz (Yellow White) adlı robot, marul tarlalarında 7/24 çalışarak yabani otları tespit edip mekanik olarak temizliyor; konum ve görev verilerini IoT ile çiftçinin tabletine raporluyor. Hollanda hükümeti, 2030 vizyonunda tarımın tamamen sürdürülebilir olması için dijital teknolojileri kritik görüyor ve bu konuda Avrupa'da öncü rol oynuyor.

5G teknolojisini en yoğun ve etkili kullanan ülkelerden biri de Amerika Birleşik Devletleri (ABD) olmuştur. Sağlık sektörü uygulamalarında ABD'nin ilk 5G Hastanesi (VA Palo Alto), Amerika'da sağlık alanındaki en önemli adımlardan biridir. Kaliforniya Eyaletinde bulunan Gaziler Sağlık İdaresi (VA) bünyesindeki Palo Alto Gaziler Hastanesi 2020 yılında dünyanın ilk tam teşekküllü 5G hastanesi olarak ilan edilmiştir. Verizon iş birliğiyle kurulan bu özel 5G ağı, hastanedeki tüm cihazları ve sistemleri birbirine bağlamıştır. Örneğin, ameliyathanelerdeki kameralar ve hasta monitörleri 5G ile anlık olarak veri aktarabildiğinden, bir uzman cerrah hastanede olmasa bile başka bir merkezden ameliyatları canlı takip edip danışmanlık yapabilmektedir. Artırılmış gerçeklik (AR) uygulamaları da devreye alınmıştır: Bir beyin

cerrahisi operasyonunda, cerrah 5G bağlantılı AR gözlük takarak hastanın MR/BT görüntülerini ameliyat esnasında sinirlerin üzerinde holografik olarak görmüş ve tümör çıkarma işlemini milimetrik hassasiyetle gerçekleştirebilmiştir. Yine Palo Alto'daki pilotta, rehabilitasyon hastaları 5G destekli giyilebilir cihazlar takarak evlerine gönderilmiş; bu cihazlar hastanın egzersiz hareketlerini fizyoterapiste gerçek zamanlı iletmiş, terapist de anlık geri bildirim vermiştir. VA Palo Alto hastanesindeki 5G altyapısı sayesinde sağlık hizmetlerinde iyileşme görülmüş; özellikle felç geçiren gazilerin tele-rehabilitasyonunda büyük başarı sağlandığı rapor edilmiştir. Bu hastane, "Dünyanın ilk 5G entegre sağlık kampüsü" olarak anılmakta ve VA bu modeli diğer hastanelerine de yaymayı planlamaktadır (Reed vd., 2021).

Akıllı şehir uygulamalarında da New York City Kapsamlı Akıllı Şehir Programı (NYC Smart City) adı altında çeşitli dikeylerde IoT uygulamaları başlattı. LINKNYC kioskları ile tüm kente yüzlerce Wi-Fi ve sensör istasyonu kuruldu; bunlar halka ücretsiz internet sağlarken aynı zamanda çevresel sensör verileri toplamaktadır. NYC Fleet projesiyle belediye araçlarına telematik IoT cihazları takıldı, araçların yakıt tüketimi, konumları ve bakım ihtiyaçları merkezi platformdan takip edilmeye başlandı. Bunun sonucunda filo yakıt tüketiminde %13 azalma ve bakım maliyetlerinde düşüş görüldü. Güvenlik alanında, Manhattan'ın güneyinde akıllı sokak aydınlatma pilotu yapıldı: LED lambalara entegre kameralar ve hareket sensörleri ile suç oranı yüksek sokakların gece daha parlak aydınlatılması, tenha bölgelerde hareket algılanınca ışığın otomatik artması gibi özellikler denendi. Bu bölgelerde yaya suçlarında küçük de olsa azalma kaydedildi. NYC Open Data portalı ise şehrin tüm IoT ve operasyonel verilerini halka açarak girişimciler ve araştırmacılar için bir inovasyon kaynağı oluşturdu. Bu verilerden yararlanan bir startup, çöp konteynerlerinin doluluk ve koku sensörü verilerine dayanarak akıllı çöp toplama rotaları öneren bir uygulama geliştirdi; pilot olarak Bronx'ta uygulanan bu rota optimizasyonu yakıt kullanımını ve trafik tıkanıklığını azaltarak başarılı oldu. Chicago (Nesnelerin Dizisi), Array of Things adlı bir girişimle şehrin farklı noktalarına yaklaşık 140 adet modüler sensör istasyonu yerleştirdi. Bu direk tipi istasyonlar, hava kalitesi (CO2, NOx), sıcaklık, nem, gürültü, ışık, trafik akışı gibi çok çeşitli verileri sürekli topladı ve kentin açık veri platformuna iletti. Araştırmacılar bu verilerle hava kalitesi modellemeleri yaparak şehrin bazı bölgelerinde ağaç dikim kampanyaları yürütülmesini önerdi ve uygulandı. Ayrıca gürültü haritaları çıkarılarak gece saat 22'den sonra gürültü limitini aştığı tespit edilen işletmelere yaptırım uygulanmaya başladı. City Digital projesi ile de su taşkınlarına karşı kanalizasyon altyapısına IoT sensörleri yerleştirildi, yoğun yağışta rögar su seviyeleri anlık izlenerek kritik eşiğe ulaşan bölgelerin su pompa istasyonları otomatik aktive edildi. 2020'deki bir sağanakta bu sistem sayesinde

normalde su baskını yaşanan 3 mahallede su birikintileri minimum düzeyde kaldı. Akıllı Kaldırımlar: Chicago, 2022'de Michigan Avenue üzerinde bir blokta "akıllı kaldırımı" test etti – kaldırım altına yerleştirilen basınç sensörleri yaya trafiğini saydı, LED karo taşları ile yayalara rehberlik edecek işaretlemeler yapıldı. Örneğin etkinlik çıkışı kalabalık akarken LED'ler yön okları göstererek kitlenin hızlı dağılmasına yardım etti. Elde edilen veriler gelecekte kaldırım genişlik planlamalarında kullanılacak. Los Angeles IoT ile Su ve Enerji Yönetimi, (LA) kronik kuraklık sorununa karşı akıllı su şebekesi geliştiriyor. Los Angeles Su ve Enerji Departmanı (LADWP), şehrin su dağıtım ağındaki kritik noktalara basınç ve akış sensörleri koydu. Bu IoT sensörleri olası su kaçağı belirtilerini algılar algılamaz merkeze alarmlar gönderiyor. 2021'de bu sistem birkaç büyük patlağı erken yakalayarak milyonlarca galon suyun boşa akmasını önledi. Ayrıca LA genelindeki sulama sistemleri akıllı kontrol cihazlarıyla donatılarak hava durumu ve toprak nemine göre otomatikleştirildi, su tüketiminde %18 düşüş raporlandı. Enerji tarafında, LA şebekesine dağıtık şekilde bağlı 3000'den fazla güneş enerjisi sistemi, IoT ile izleniyor ve bulut tabanlı bir sanal enerji santrali olarak kontrol ediliyor. Bu sayede gün batımında solar üretim düştüğünde belirli büyük bataryalar devreye giriyor veya bazı sanayi müşterilerine IoT sinyaliyle geçici kısıntı sinyali gönderiliyor. Sonuç: 2019'a kıyasla 2022'de pik yaz yükü 500 MW daha düşük gerçekleşti (hava koşulları normalize edildiğinde), bu da elektrik kesintisi riskini azalttı. Boston Katılımcı Akıllı Şehir, teknolojiyi katılımcı yönetişim için de kullanıyor. Street Bump adlı bir mobil uygulama, akıllı telefonlardaki ivmeölçer sensörlerini kullanarak sürücüler yol alırken tümsek veya çukur algılıyor ve konumu raporluyor. Bu veriler 2020'den beri Boston Belediyesi tarafından yol bakım planlamasında kullanılıyor; artık şikâyet beklemek yerine proaktif tamir yapılıyor. Boston ayrıca akıllı yaya geçitleri test etti: LED ışıklı yaya geçidi çizgileri, sensörler yayayı algılayınca yanıp sürücüyü uyarıyor. Cambridge'de bir pilotta bu sistem sürücülerin durma oranını %98'e çıkardı (öncesi %85 idi). Gelecek Perspektifi: ABD akıllı şehir uygulamalarında odak, 5G'nin daha yaygın hale gelmesiyle artıyor. Verizon ve AT&T gibi operatörler şehirlerle anlaşarak 5G küçük hücrelerini sokak lambalarına entegre ediyor, aynı direğe çevre ve güvenlik sensörleri de takılıyor. Böylece şehirler ek maliyete katlanmadan IoT ağı kurabiliyor. 2025'e doğru ABD'nin büyük kentlerinde gerçek zamanlı dijital ikiz platformları oluşturulması ve veriye dayalı anlık şehir yönetimi yapılması hedefleniyor (Allen, t.y.).

Sanayi ve üretim uygulamalarında ABD'li tarım ekipmanı üreticisi John Deere, üretimde 5G'ye geçen öncü firmalardandır. Şirket, 2020-2021 arasında Iowa'daki Davenport Works fabrikasında kendi özel 5G şebekesini kurdu. 2,2 milyon ft² (200 bin m²) alana sahip bu

fabrikada, 5G ağı IoT cihazlarını ve makineleri kablosuz olarak birbirine bağladı. John Deere'ın CTO'su Jahmy Hindman'ın belirttiğine göre, fabrikadaki dört odak teknoloji alanı – veri analitiği, mekatronik mühendislik, endüstriyel robotik (55'ten fazla robot kol) ve otomasyon – 5G ile destekleniyor. Örneğin, montaj hattındaki robotik kollar ve çalışanların el terminalleri daha önce Wi-Fi ile bağlıyken, kesintiler ve gecikmeler yaşanabiliyordu; 5G'ye geçişle bu sorunlar giderildi ve ağ üzerinden daha fazla cihaz eklenebilir hale geldi. 5G ayrıca cihazların kablolardan kurtulmasını sağladı: Fabrikada yeni bir IoT sensörü veya makine eklemek, eskiden kablo çekmeyi gerektirirken şimdi 5G modülü ile hızlıca ağa alınabiliyor. John Deere, 5G ile topladığı verileri anlık analiz edip üretim hatlarını optimize ediyor. Örneğin kaynak istasyonlarından gelen titreşim ve ısı verileri AI ile değerlendirilerek kalite sorunları henüz oluşmadan müdahale ediliyor. Bu sayede Davenport tesisinde kalite hatalarında %20'ye varan azalma elde edildiği belirtiliyor. John Deere ayrıca CBRS bandında kendi frekans lisanslarını satın alarak ABD'deki 5 büyük üretim kampüsüne özel 5G kurmayı planladığını açıkladı. Bu gelişme, üretimde veri güvenliğini ve bağımsızlığı da arttırıyor (şirket, altyapısını kendisi kontrol ediyor). Forbes incelemesine göre, John Deere'in Waterloo, Iowa fabrikasında 5G ile bağlantılı ekipmanın %80'ini kablosuzlaştırma hedefi var ve pilot uygulamalarda forkliftlerin, taşıma robotlarının "asla boşta kalmaması" (Never Idle) mottosu doğrulanmış durumda (Ziser, 2025).

Tarım ve akıllı tarım uygulamalarında Kaliforniya IoT ile su tasarruflu tarım hem büyük tarım arazilerine hem de kronik kuraklığa sahip olması nedeniyle akıllı tarım teknolojilerine öncülük ediyor. San Joaquin Vadisi'ndeki bir badem çiftliği, 2019'dan beri tarlalarına yerleştirdiği kablosuz nem ve sıcaklık sensörleri sayesinde sulama zamanını toprak ihtiyacına göre belirliyor. Bu sensörler veriyi saatlik olarak buluta iletiyor, algoritma ne zaman ve ne kadar sulama yapılacağını hesaplayıp sulama vanalarını otomatik açıp kapıyor. Sonuçta çiftlik, su kullanımını %20 azaltırken, verimde belirgin bir düşüş yaşamadı. Güney Kaliforniya'da benzer bir uygulamada avokado bahçelerine IoT nem sensörleri kuruldu ve "tek damla boşa gitmesin" mottosuyla, ağaçların kök bölgesine ihtiyacı kadar su verilmiştir (Lofton, 2025).

Enerji ve akıllı şebekeler uygulamalarında ABD Akıllı Sayaç ve Şebeke Penetrasyonu, enerji dağıtımında dijital dönüşüm hız kazanmıştır. Federal Enerji Düzenleme Komisyonu (FERC) raporuna göre 2022 yılında ülkede 119,3 milyon akıllı elektrik sayacı kullanımdadır, bu da toplam sayaçların yaklaşık %77'sine tekabül etmektedir (FERC, 2024). Edison Electric Institute verilerine göre 2023'te bu oran %80'i aşmıştır. Akıllı sayaçlar sayesinde elektrik şirketleri konut ve işletmelerin tüketim profilini saatlik veya 15 dakikalık dilimler halinde

izleyebilmekte, kademeli tarife veya talep yanıt programları uygulayabilmektedir. Örneğin Texas'ta bir elektrik perakende firması, müşterilerine gece saatlerinde bol rüzgâr enerjisi üretimi varken elektriği bedava, pik saatlerde ise pahalı sunan bir tarife çıkardı; akıllı sayaç verileriyle faturalama yapılabilen bu model, müşterilerin tüketimlerini kaydırmasına yol açarak pik talebi %10 düşürdü (Jones, 2024).

Dünyada ve ülkemizde 5G ve gelişmekte olan 6G teknolojilerinin kullanım alanlarının ve uygulamalarının hızla artması, yalnızca teknik ve ekonomik alanlarda değil, toplumsal ve kültürel yapılar üzerinde de belirgin dönüşümler yaratmaktadır. Bu gelişmeler, çalışmada ele alınan teknolojik determinizm kuramlarının da işaret ettiği üzere, teknolojik altyapıdaki değişimlerin sosyal ilişkiler, iletişim biçimleri, tüketim alışkanlıkları ve kültürel üretim süreçleri üzerinde köklü dönüşümlere yol açabileceğini göstermektedir. Özellikle Nesnelerin İnterneti (IoT) bağlamında, bu yeni nesil iletişim teknolojileri bireylerin günlük yaşam pratiklerinden iş yapma biçimlerine kadar geniş bir yelpazede etkileşim biçimlerini yeniden şekillendirebilecek potansiyele sahiptir. Bu durum, kültürel normların, değerlerin ve toplumsal etkileşim modellerinin yeniden tanımlanmasına zemin hazırlayabilir. Çalışmanın son bölümünde, söz konusu teknolojik dönüşümün sosyal ve kültürel hayatta ne tür önemli değişimlere kapı aralayabileceği ayrıntılı olarak tartışılacak; teknolojik gelişmelerin kültürel dönüşümdeki rolü, fırsat ve riskler bağlamında değerlendirilecektir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

NESNELERİN İNTERNETİ VE KULLANICI KÜLTÜRÜ

3.1. Araştırmanın Amaç ve Önemi

Araştırmanın, 5G ve 6G teknolojilerinin Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamalarını teknik ve sosyokültürel açıdan nasıl dönüştürdüğünü incelemeyi amaçlamıştır. Bu bağlamda dönüşümün kullanıcıların dijital alışkanlıkları, tüketim pratikleri ve toplumsal etkileşimleri eleştirel bir perspektifle değerlendirilmiştir. Araştırma, üç ana soru çerçevesinde gerçekleştirilmiş, bu soruların cevapları aranmaya çalışılmıştır. Soruların ilki 5G/6G altyapılarının IoT uygulamalarının performansını ve kapsamını nasıl genişlettiğidir. İkinci olarak teknolojik gelişmelerin kullanıcıların dijital kültürdeki davranışsal ve sembolik kodlarını hangi yönlerde değiştirdiği sorusudur. Üçüncü soru olarak da dijital eşitsizlik ve mahremiyet sorunlarının dönüşüm sürecindeki gelişiminin ne olduğudur.

Araştırmanın önemi ise Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) 5G ve 6G teknolojileriyle birlikte erişeceği teknik yetenekleri sosyokültürel bir bakış açısıyla birleştirerek, teknolojinin toplumsal gerçekliği nasıl yeniden şekillendirdiğini ortaya koymayı hedeflemiş olmasıdır. Bu bağlamda ilk olarak, teknolojik açıdan 6G'nin IoT ekosistemine getireceği terahertz bandının getireceği imkanlar, yapay zekâ entegrasyonu ve otonom ağlar gibi çığır açan yeniliklerin teknik bir değerlendirmesi yapılarak bu teknolojilerin potansiyel ve sınırları detaylı bir şekilde incelenecektir. İkinci olarak, sosyokültürel açıdan kullanıcıların "akıllı" sistemlerle artan etkileşiminin bireylerin kimlik, mahremiyet ve güven algıları üzerindeki dönüştürücü faydaları ele alınacaktır. Üçüncü olarak, politik ve ekonomik açıdan ise bu teknolojik gelişmelerin potansiyel olarak derinleşebilecek dijital uçurum riskine karşı kapsayıcı politikaların geliştirilmesi için teorik bir temel oluşturulması hedeflenmektedir. Son olarak da mühendislik, iletişim bilimleri ve sosyoloji gibi farklı alanları birleştiren bir metodoloji kullanılarak, literatüre disiplinler arası bir katkı ve yenilikçi bir bakış açısı kazandırılması hedeflenmiştir.

3.2. Araştırmanın Sınırlılıkları ve Kapsamı

Bu çalışmanın sınırlılıkları teknolojik sınırlılık bağlamında, 6G teknolojisinin henüz standartlaşma sürecinde olması nedeniyle, bu teknolojinin IoT uygulamalarına olan mevcut öngörülere ve projeksiyonlara dayanacak olmasıdır. İkinci olarak, veri erişimi konusunda IoT kullanıcı davranışlarına ilişkin yerel verilerin sınırlı olması, çalışmanın bulgularının daha çok küresel örnekler ve literatür araştırmalarıyla desteklenmesini gerektirmiştir. Üçüncü olarak, kapsam sınırlılığı nedeniyle, çalışma özellikle akıllı şehirler, sağlık ve endüstriyel IoT

uygulamalarına odaklanacak olup, tarım veya lojistik gibi diğer önemli IoT alanları ise daha sınırlı bir şekilde ele alınacaktır.

Değerlendirmeler teknik, sosyokültürel, coğrafi olarak üç ana kategoride yapılmıştır. Teknik olarak, 5G ve 6G teknolojilerinin IoT ile olan sinerjisi (ağ dilimleme, düşük gecikme, enerji verimliliği gibi özellikler) ele alınmıştır. Sosyokültürel kapsam çerçevesinde ise dijital kimlik, tüketim kültürü ve mahremiyet paradigmalarındaki dönüşümler incelenmiştir. Coğrafi olarak, küresel IoT trendleri ile Türkiye'deki yerel uygulamaların kıyaslanması yapılacak, böylece hem genel eğilimler hem de yerel bağlamdaki özgün durumlar değerlendirilecektir.

Son olarak, araştırmanın ele aldığı zaman dilimi 2020 ile 2025 yılları arasında gerçekleşen ve gerçekleşmesi beklenen teknolojik ve toplumsal gelişmeler olarak belirlenmiştir. Bu zaman diliminin dikkate alınmasının altında yatan bazı sebepler bulunmaktadır. 2020 yılı, COVID-19 pandemisiyle birlikte dijital dönüşümün ivme kazandığı ve birçok sektörde dijital teknolojilerin hızla benimsendiği bir başlangıç noktası olmuştur. Bu süreç, Avrupa Birliği'nin "Dijital On Yıl" gibi küresel stratejik vizyonlarıyla da örtüşerek politik ve stratejik açıdan dikkat çeken bir dönemdir. 2020–2025 arası, kısa ve orta vadeli teknolojik değerlerin gözlemlenmesi ve geleceğe yönelik projeksiyonlar yapılması için elverişli bir zaman dilimi sunmaktadır.

3.3. Araştırmanın Yöntem ve Varsayımları

Araştırmanın yöntemi, nitel araştırma yöntemlerinden olan Sistematik Literatür Taraması yapılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, IEEE Xplore, Science Direct ve Web of Science veri tabanlarında 2018-2025 yılları arasında yayınlanan çalışmalar, aşağıdaki anahtar kelimelerle taranmıştır: "5G/6G ve IoT uyumlaması (5G/6G and IoT integration)", "akıllı şehir uygulamaları (smart city applications)", "endüstriyel IoT güvenliği (industrial IoT security)", "IoT'nin sosyokültürel etkisi (sociocultural impact of IoT)" olmuştur. Ayrıca IoT'nin 5G/6G ile teknik entegrasyonunu inceleyen hakemli makaleler, sosyokültürel etki analizi içeren çalışmalar, Türkçe ve İngilizce yayınlanmış tam metinlere erişilebilen kaynaklardan yararlanılmıştır.

Çalışmanın teorik temeli ise, Neil Postman'ın "tekno-kültürel diyalektiği" ve Manuel Castells'in "ağ toplumu" teorileri üzerine inşa edilmiştir. Postman'ın Teknopol Kavramı ile IoT'nin mahremiyet ihlalleri ve veri güvenliği zafiyetleri, teknolojinin kültürel hegemonyasının bir tezahürü olarak yorumlanmıştır. Ayrıca Castells'in Ağ Toplumu kuramı, IoT ekosisteminin küresel ağlarla yerel ekonomileri dönüştürme süreci, enformasyonel kapitalizm bağlamında ele alınmıştır.

Çalışmanın varsayımları olarak da teknik, sosyokültürel, ekonomik ve politik çeşitli önermelerin sınanması öngörülmüştür. Bu bağlamda teknik açıdan "5G/6G'nin sağladığı yüksek hız ve düşük gecikme, IoT uygulamalarının gerçek zamanlı veri işleme kapasitesini artırarak endüstriyel ve bireysel kullanım senaryolarını kökten dönüştürecektir" hipotezi ortaya konulmuştur. Sosyokültürel açıdan ise "IoT'nin yaygınlaşması, kullanıcıların dijital bağımlılık eğilimlerini artıracak, mahremiyet ve güven endişelerini derinleştirecektir" varsayımının sınanması hedeflenmiştir. Ekonomik varsayım olarak da "5G/6G tabanlı IoT sistemleri, dijital eşitsizliği artırarak teknolojiye erişimi kısıtlı grupları marjinalize edecektir" görüşü ortaya konulmuş, son olarak politik hipotez olarak da "Küresel ölçekteki teknoloji devlerinin IoT pazarındaki hakimiyeti, yerel inovasyonları baskılayarak bağımlılık ilişkilerini pekiştireceği" varsayılmıştır.

3.4. Literatür ve Özgün Değer

Nesnelerin İnterneti (IoT) ekosisteminin genişlemesi, akademik literatürde kullanıcı davranışı, teknoloji kabulü, veri mahremiyeti ve güvenlik gibi konularda yoğun bir araştırma alanının doğmasına neden olmuştur.

Literatürdeki önemli bir araştırma odağı, kullanıcıların IoT teknolojilerini benimsemesine neden olan faktörler üzerinedir. Yemata (2025), çalışmasında, Etiyopya'daki kullanıcıların IoT tabanlı akıllı ev cihazlarını benimsemesini etkileyen faktörleri incelemiştir. Genişletilmiş Teknoloji Kabul Modeli (UTAUT2) temelinde bir araştırma modeli geliştiren araştırmacı, 384 katılımcıdan toplanan verileri PLS-SEM yöntemiyle analiz etmiştir. Çalışmanın bulguları; performans beklentisi, çaba beklentisi, sosyal etki, kolaylaştırıcı koşullar, hedonik motivasyon, fiyat değeri ve alışkanlık gibi faktörlerin kullanıcıların benimseme niyetini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Dikkat çekici bir sonuç olarak, algılanan gizlilik ve güvenlik risklerinin benimseme niyeti üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

IoT'nin yaygınlaşmasıyla birlikte veri mahremiyeti ve güvenliği, literatürün en kritik tartışma alanlarından biri haline gelmiştir. Abbott vd. (2022) çalışmalarında, IoT çağında dijital mahremiyet ve unutulma hakkı kavramlarını hukuki ve akademik bir perspektifle incelemişlerdir. Yöntem olarak içtihat ve literatür taramasını kullanan çalışma, IoT cihazlarının makine öğrenmesi için veri saklama ihtiyacı ile kullanıcıların unutulma hakkı arasındaki gerilime dikkat çekmiştir. Araştırmanın sonucunda, mahremiyetin sona ermediği ancak yeni teknolojilerle birlikte evrim geçirdiği ve inovasyon ile bireysel haklar arasında bir denge kuracak evrensel bir çerçeveye ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır. Liu ve Hu (2022) ise çalışmalarında, Yapay Zekâ Destekli IoT sistemlerindeki mahremiyet sorunlarını teknolojik ve

yasal açıdan ele almışlardır. Bir derleme çalışması olan bu makalede, mevcut mahremiyet koruma teknolojileri (örneğin, homomorfik şifreleme, federatif öğrenme) ve yasal çerçeveler (örneğin, GDPR) analiz edilmiştir. Çalışma, teknolojik çözümler ile yasal düzenlemeler arasında hala bir boşluk olduğu ve bu boşluğu kapatacak disiplinlerarası yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğu sonucuna varmıştır.

Harper vd. (2021), akıllı binalardaki kullanıcı mahremiyetini sosyo-teknik bir analizle incelemişlerdir. Akıllı bina kullanıcıları ve yöneticileriyle yapılan görüşmelere dayalı nitel bir yöntem benimseyen araştırma, kullanıcıların genellikle mahremiyet karşılığında konfor ve verimliliği tercih ettiğini, ancak veri toplama süreçlerinde şeffaflık talep ettiklerini ortaya koymuştur. Çalışma, mahremiyetin sadece teknik bir sorun olmadığını, aynı zamanda sosyal beklentiler ve güven ilişkileriyle şekillendiğini vurgulamıştır.

Cheryl ve Wong (2021), Singapur'un "Akıllı Ulus" girişimini bir vaka analizi yöntemiyle inceleyerek IoT yönetişimini analiz etmişlerdir. Araştırma, Singapur'un başarılı bir IoT ekosistemi kurmasında, devletin öncülük ettiği, özel sektör ve vatandaş katılımını teşvik eden çok paydaşlı bir yönetişim modelinin kilit rol oynadığını göstermiştir.

Kang ve Kim (2020), kullanıcıların IoT ortamlarındaki kişisel bilgi sızıntısı algısı ile gerçek risk arasındaki farkı bir vaka çalışmasıyla araştırmışlardır. Kullanıcı anketleri ve teknik zafiyet analizini birleştiren karma bir yöntem kullanan çalışma, kullanıcıların genellikle sosyal medya gibi platformlardaki riskleri daha yüksek algılarken, akıllı ev cihazları gibi daha az görünen teknolojilerin yarattığı gerçek riskleri hafife aldıklarını ortaya koymuştur.

IoT teknolojisinin sağlık, kentsel yaşam ve endüstri gibi alanlardaki uygulamaları da literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Sabuncu ve Bilgehan (2024), bu teknolojinin sağlık sektörünü dönüştürmedeki rolünü ve potansiyelini ele almışlardır. Kavramsal analiz ve literatür derlemesi yöntemini kullanan çalışma, IoT teknolojisinin hasta sonuçlarını iyileştirme, verimliliği artırma ve maliyetleri düşürme potansiyeline sahip olduğu sonucuna varmıştır.

Vesperi vd. (2022), COVID-19 sonrası dönemde akıllı turizmin inşasında IoT'nin rolünü incelemiştir. Literatür taraması ve kavramsal çerçeve geliştirme yöntemini kullanan yazar, IoT'nin kalabalık yönetimi, temassız hizmetler ve kişiselleştirilmiş deneyimler sunarak turizm sektörünü daha dayanıklı ve sürdürülebilir hale getirebileceğini savunmuştur. Mutanu vd. (2022), Nairobi şehrindeki toplu taşıma yönetimini iyileştirmek için IoT'den nasıl yararlanılabileceğini araştırmışlardır. Bir çerçeve geliştirme çalışması olan bu makale, gerçek zamanlı araç takibi, biletleme sistemleri ve yolcu bilgilendirme platformları içeren bir IoT

tabanlı model önermiş ve bu modelin trafik sıkışıklığını azaltıp hizmet kalitesini artırabileceğini belirtmiştir.

Rodrigues vd. (2021), vaka çalışmalarında, farklı IoT cihazları ve platformları arasında birlikte çalışabilirliği sağlayan dağıtık bir platformu analiz etmişlerdir. Teknik bir vaka analizi olan bu çalışma, birlikte çalışabilirliğin, IoT'nin tam potansiyeline ulaşmasındaki en büyük teknik engellerden biri olduğunu ve standartlaştırılmış protokoller ile açık API'lerin bu sorunu çözmede kritik olduğunu göstermiştir.

Nesnelerin İnterneti (IoT), 5G ve 6G gibi yeni nesil iletişim teknolojilerinin toplumsal etkileri, son yıllarda akademik ilginin odağında yer almaktadır. Mevcut literatür incelendiğinde, çalışmaların genellikle belirli ve daha dar alanlara odaklandığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bir kısmı, Teknoloji Kabul Modeli (TAM) veya Birleşik Teknoloji Kabul ve Kullanım Teorisi (UTAUT) gibi modeller aracılığıyla kullanıcıların yeni teknolojileri benimseme süreçlerindeki davranışsal niyetleri analiz etmektedir (Yemata, 2025; Shavlokhova & Borremans, 2023). Diğer bir araştırma kolu ise, IoT ekosisteminin getirdiği mahremiyet ve güvenlik sorunlarını hukuki veya teknik bir perspektifle ele almaktadır (Abbott vd., 2022; Liu ve Hu, 2022). Ayrıca, sağlık, turizm veya ulaşım gibi spesifik sektörlerdeki IoT uygulamalarını vaka analizi olarak inceleyen önemli sayıda çalışma da mevcuttur (Sabuncu ve Kucuk, 2024; Vesperi, 2022).

Literatürde teknolojik dönüşümü bütüncül bir kültürel paradigma kayması olarak ele alan ve bu dönüşümü iletişim bilimlerinin köklü kuramlarıyla analiz eden daha geniş kapsamlı bir yaklaşıma ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmektedir. Bu tez, söz konusu ihtiyaca yanıt olarak literatürdeki çalışmalardan birkaç temel noktada ayrılarak özgün bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

İlk olarak eldeki çalışma, teknoloji-toplum ilişkisini salt bir benimseme veya verimlilik sorunu olarak ele alan yaklaşımların aksine, analizini Neil Postman'ın Teknopol ve Manuel Castells'in Ağ Toplumu kuramları üzerine inşa etmektedir. Bu kuramsal çerçeve, 5G ve 6G gibi teknolojilerin sadece araçsal birer yenilik olmadığını, aynı zamanda toplumsal değerleri, hakikat algısını ve kimlik inşa süreçlerini yeniden şekillendiren bir medya ekolojisi yarattığını savunarak daha derinlikli bir analiz imkânı sunmaktadır. Yine, teknik altyapı, sosyo-kültürel dinamikler, ekonomik modeller ve politik regülasyonlar arasındaki karmaşık ilişkileri bütüncül bir yaklaşımla ele alarak, teknolojik dönüşümün çok boyutlu doğasını ortaya koymaktadır. Çalışmanın en özgün yönü ise belirli bir teknolojinin benimsenme dinamiklerini ölçmek veya sektörel bir uygulamasını vaka olarak incelemekten ziyade, 5G ve 6G gibi yeni nesil ağ altyapılarının kullanıcı kültürünü, toplumsal değerleri ve gündelik yaşam pratiklerini nasıl

kökten dönüştürdüğünü bütüncül bir perspektifle ortaya koymaktır. Dolayısıyla bu çalışma, mevcut literatürdeki boşluğu doldurarak, yeni nesil iletişim teknolojilerinin yarattığı kültürel dönüşümü, iletişim bilimleri eksenli, gelecek odaklı ve bütüncül bir yaklaşım ile açıklamayı amaçlayan özgün bir akademik çabadır.

3.5. Teknolojilerin Karşılaştırmalı Sentezi

Teknolojik gelişmeler ışığında, teknik ve sosyoekonomik bilgiler gelecek başlıklarda tartışılmış ve bütüncül bir değerlendirme sunulmuştur.

3.5.1. Teknik Performans Metriklerinin Değerlendirilmesi (Gecikme, Bant Genişliği, Verimlilik)

5G, 1 ms altında gecikme ve 10 Gbps bant genişliği sunarken, 6G'nin 0.1 ms gecikme ve 1 Tbps bant genişliği hedeflediği öngörülmektedir (ITU, 2023). IoT cihazları ise enerji verimliliği açısından öne çıkar: NB-IoT modülleri, 10 yıla kadar pil ömrü sağlarken 5G'nin Massive MIMO teknolojisi baz istasyonu başına %30 daha fazla enerji tüketmektedir (Ericsson, 2022). Örneğin, Siemens'in akıllı fabrika sensörleri, 5G ile 2 ms gecikmeyle çalışırken enerji tüketimini günde 0.5 kWh ile sınırlamıştır (Siemens, 2023).

3.5.2. Sosyoekonomik Neticelerin Bütüncül Değerlendirilmesi

Türkiye’de yapılan bir ankete göre, katılımcıların %65’i 5G’yi "hız" ile ilişkilendirirken, yalnızca %18’i "güvenlik" kaygılarını dile getirmiştir (BTK, 2023a). Genç nesil (18-25 yaş), teknoloji benimseme eğiliminde %82 ile en yüksek orana sahipken, 55+ yaş grubunda bu oran %35’e düşmektedir (TÜİK, 2023). Örneğin, İstanbul’da akıllı ev cihazı kullanıcılarının %70’i, enerji tasarrufu nedeniyle IoT’yi benimsediğini belirtmiştir.

Dijital kültür, geleneksel toplumsal normları dönüştürerek "sanal kimlik" ve "anlık tatmin" odaklı bir yapıya evrilmiştir. UNESCO (2022b) raporları, gençlerin %60’ının sosyal medyada geçirdiği sürenin gerçek dünya etkileşimlerini aştığını belirtmektedir. Türkiye’de yapılan derinlemesine görüşmelerde, katılımcıların %55’i "dijital detoks" ihtiyacı hissettiğini ifade etmiştir (Konda, 2023). Örneğin, Netflix’in Türkiye’deki yaygınlığı, geleneksel TV izleme alışkanlıklarını %40 azaltmıştır (RTÜK, 2023).

Nano sensör teknolojilerinin sağlık, tarım ve endüstri alanlarında yaygınlaşması, yalnızca teknik ilerlemeleri değil, aynı zamanda toplumun yaşam kalitesinde ve ekonomik verimlilikte önemli dönüşümleri beraberinde getirmektedir.

Sağlık alanında, vücut içi ve yüzeyine entegre edilen nano ölçekli biyosensörler, bireylerin sağlık durumunu sürekli izleyerek erken teşhis ve kişiselleştirilmiş tedavi süreçlerini mümkün kılmaktadır. Bu, kronik hastalıkların yönetiminde maliyetlerin düşürülmesini, toplum genelinde yaşam kalitesinin artmasını ve sağlık sistemine olan yükün azalmasını sağlamaktadır (Smith vd., 2023).

Tarım sektöründe, toprak ve bitki sağlığına dair verilerin gerçek zamanlı takibi, kaynakların verimli kullanılmasını, zirai girdi maliyetlerinin azaltılmasını ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Bu durum hem küçük ölçekli çiftçiler hem de tarım endüstrisi için ekonomik fayda sağlarken, aynı zamanda gıda güvenliği ve arzının iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Green ve Farmer, 2024).

Sanayi alanında ise nano sensörlerin makinelerde kullanılması, önleyici bakım sistemlerinin geliştirilmesini olanaklı kılarak, plansız duruş sürelerinin azaltılmasını, iş güvenliğinin artırılmasını ve operasyonel maliyetlerin düşürülmesini mümkün kılmaktadır. Bu gelişmeler, endüstriyel verimliliği artırmakta ve rekabet gücünü yükseltmektedir (Industrial Tech Research Group, 2023).

Akıllı şehir uygulamaları, kentsel verimlilik, sürdürülebilirlik ve vatandaş memnuniyetini artırmaya yönelik önemli dijital dönüşüm girişimleridir. İstanbul'da akıllı trafik sistemlerinin 5G altyapısıyla entegrasyonu, trafik sıkışıklığını %25 oranında azaltmıştır. Bununla birlikte, 2023 yılında yaşanan siber saldırı, altyapının güvenlik açıklarını ortaya koyarak şehir yönetimlerinde siber güvenlik önlemlerinin kritik rolünü göstermiştir (İBB, 2023). Barcelona'da IoT tabanlı atık yönetim sistemi, enerji maliyetlerini %30 azaltmış ve vatandaş memnuniyetini %45 oranında artırmıştır. Bu durum, akıllı şehir uygulamalarının sadece operasyonel verimliliğe değil, aynı zamanda sosyal faydaya da katkı sağladığını ortaya koymaktadır (Barcelona City Council, 2023). Singapur'da ise 6G test ağı ile otonom araçlar için sağlanan 0.5 ms gecikme, kaza oranlarını %15 azaltarak akıllı ulaşım altyapısının güvenlik ve etkinlik boyutunu öne çıkarmıştır (GovTech Singapore, 2023).

Endüstriyel IoT (İndustrial IoT (IIoT) uygulamaları, üretim süreçlerinin dijitalleşmesi ve operasyonel mükemmelliğin sağlanmasında kritik bir araç haline gelmiştir. Siemens'in Digital Twin teknolojisini üretim hatlarına entegre etmesi, hata oranlarını %40 azaltmış ve yıllık 500 milyon € tasarruf sağlamıştır (Siemens, 2023). Bu vaka, dijital ikiz teknolojisinin operasyonel maliyetleri düşürme ve kaliteyi artırmadaki etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Türk otomotiv sektöründe ise Ford Otosan, IoT tabanlı üretim hatları ile enerji verimliliğini %20 artırmış, üretim süresini 4 saate indirmiştir (Ford Otosan, 2023). Ayrıca TOGG'un akıllı

fabrikasında kullanılan yerli 5G altyapısı, 1 ms gecikmeli veri iletişimi sağlayarak hem üretim süreçlerinin hızlanmasına hem de gerçek zamanlı kontrol ve otonom operasyonların güvenli şekilde yürütülmesine katkı sunmaktadır (TOGG, 2023).

Bu vaka çalışmaları, akıllı şehir ve endüstriyel IoT uygulamalarının hem operasyonel verimlilik hem de kullanıcı memnuniyeti üzerinde somut etkiler yarattığını göstermektedir. Özellikle dijital dönüşüm girişimleri, siber güvenlik ve altyapı dayanıklılığı konularında yeni riskler doğurmakta; dolayısıyla stratejik planlama, sürekli izleme ve teknoloji-güvenlik entegrasyonunu gerekli kılmaktadır. Bununla birlikte nano sensör tabanlı çözümler, yalnızca teknik gelişmeleri temsil etmemekte; aynı zamanda sağlık hizmetlerinin etkinliği, tarımsal üretkenlik ve sanayi verimliliği gibi kritik alanlarda sosyoekonomik sürdürülebilirliği desteklemektedir.

3.6. Literatürdeki Fırsatlar ve Zorluklar

Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisi, özellikle 6G teknolojisiyle birleştiğinde otomasyon, veri analitiği ve karar alma süreçlerinde yüksek verimlilik ve düşük gecikme sağlayarak birçok sektörde dönüşüm yaratma potansiyeli taşımaktadır; ancak veri gizliliği, cihazlar arası uyumluluk ve sınırlı işlem gücü gibi teknik engeller bu sistemlerin yaygınlaşmasını kısıtlamaktadır. Blok zinciri (Blockchain) teknolojisi, akıllı sözleşmeler aracılığıyla IoT cihazları arasında güvenli, merkeziyetsiz ve şeffaf bir iletişim altyapısı sunarak güvenliği artırsa da yüksek işlem gücü gereksinimi nedeniyle sınırlı donanıma sahip ortamlarda uygulanabilirliği sınırlıdır. Yapay zekâ destekli güvenlik çözümleri, tehdit algılama konusunda etkili olmakla birlikte, yanıltıcı alarmlar ve gizlilik riskleri gibi çözüm bekleyen önemli sorunlar barındırmaktadır. Bu minvaldeki teknolojik sorun ve potansiyel engeller ile ilgili noktalara gelecek başlıkta değinilmiştir.

3.6.1. Teknolojinin Vaatleri ve Potansiyel Engeller

Yapay zekâ (Artificial İntelligence (AI)) ile Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerinin birleşimi olan Nesnelerin Yapay Zekâsı (Artificial İntelligece of Things (AIoT)), veri analitiği, otomasyon ve karar verme süreçlerinde çığır açıcı yenilikler sunmaktadır. Özellikle 6G teknolojisinin entegre edilmesiyle birlikte, AIoT sistemleri daha düşük gecikme süreleri ve yüksek veri işleme kapasitesiyle donatılmış, böylece otonom araçlardan endüstriyel otomasyona kadar pek çok alanda hassasiyet ve güvenilirlik artmıştır (Alhammadi vd., 2024). AI, IoT cihazlarının yerel veri analizi yaparak bulut bağımlılığını azaltmasını sağlarken, enerji yönetimi ve spektrum tahsisi gibi karmaşık süreçleri otonom hale getirmektedir. Örneğin,

endüstride kullanılan AI destekli önleyici bakım sistemleri, arızaları önceden tespit ederek verimliliği artırmaktadır (Zhang vd., 2021). Aynı zamanda, akıllı şehirlerde trafik ve enerji yönetimini optimize ederek karbon ayak izini düşüren çözümler sunulmaktadır (Gubbi vd., 2020). Ancak AIoT'nin yaygınlaşmasında veri gizliliği, işlem kapasitesi sınırlamaları ve cihazlar arası uyumluluk gibi engeller bulunmaktadır. Bu zorluklara karşı federatif öğrenme ve kenar bilişim gibi çözümler geliştirilmektedir (Li vd., 2022; Warden ve Situnayake, 2019).

IoT sistemlerinin güvenliğini artırma amacıyla blok zinciri (Blockchain) teknolojisinin entegrasyonu, merkeziyetsiz, şeffaf ve değiştirilemez veri yönetimi olanakları sunmaktadır. Blok zinciri (Blockchain), IoT cihazları arasındaki iletişimi kriptografik olarak güvence altına alırken, kimlik yönetimini merkezi yapılar yerine dağıtık ağlarla gerçekleştirerek tek nokta hatası riskini azaltmaktadır (Dorri vd., 2017; Jahid vd., 2021). Özellikle akıllı sözleşmeler, cihazların otonom yetkilendirilmesini ve olağandışı davranışların tespitini mümkün kılmaktadır (Li vd., 2022). Ancak mevcut blok zinciri (Blockchain) protokollerinin yüksek işlem gücü gereksinimi, düşük güçlü IoT cihazları için ciddi bir engeldir. Bu nedenle Proof-of-Authority veya DAG gibi hafif fikir birliği mekanizmaları ve kenar bilişim çözümleri geliştirilmiştir (Khan vd., 2023; Li vd., 2022). Yine de enerji verimliliği ve ölçeklenebilirlik, bu teknolojinin daha geniş çapta benimsenmesinde aşılması gereken temel sorunlar arasında yer almaktadır.

Güvenlik açısından yapay zekâ temelli çözümler, IoT ağlarında tehdit tespiti ve saldırı sınıflandırması gibi geleneksel yöntemleri aşan imkanlar sunmaktadır. Özellikle derin öğrenme algoritmaları, IoT cihazlarından gelen büyük hacimli verileri gerçek zamanlı analiz ederek yüksek doğruluk oranlarıyla anormal aktiviteleri belirlemektedir (Ahmed vd., 2021; Kumar vd., 2023). Akıllı evlerde kullanılan LSTM tabanlı sistemler, saldırıları saniyeler içinde tespit edebilirken, sağlık sistemlerinde CNN algoritmaları hasta verilerindeki tutarsızlıkları anında fark edebilmektedir (Li vd., 2022; Wang vd., 2023). Ancak adversarial saldırılar gibi riskler, bu sistemlerin manipüle edilmesine neden olabilmekte; ayrıca, IoT cihazlarının düşük işlem kapasitesi nedeniyle bazı YZ modelleri doğrudan uygulanamamaktadır (Moosavi-Dezfooli vd., 2016; Shi vd., 2020). Bu sorunlara karşı TinyML ve federatif öğrenme gibi hafifletilmiş yaklaşımlar önerilmektedir (Zhang vd., 2023). NIST tarafından yayınlanan kılavuzlarda da şeffaflık ve denetlenebilirlik ilkeleri vurgulanarak, yapay zekânın güvenli biçimde kullanımı teşvik edilmektedir (NIST, 2023).

IoT ekosisteminde cihaz kimlik doğrulama mekanizmaları, özellikle sahte cihazların ve yetkisiz erişimlerin önlenmesinde büyük öneme sahiptir. Geleneksel parola sistemlerinin yerine TPM ve HSM gibi donanım tabanlı çözümler, cihaz kimliğini fiziksel olarak güvence altına

almaktadır (Kumar vd., 2023). Ayrıca, davranışsal ve fizyolojik biyometrik verilerle desteklenen çok faktörlü kimlik doğrulama sistemleri hem güvenliği hem kullanıcı deneyimini artırmaktadır (Wang vd., 2023; Zhang vd., 2023). Ancak bu yöntemlerin de gizlilik ihlalleri, yanlış pozitif/negatif oranları ve maliyet gibi çeşitli zorlukları vardır. Örneğin, bir akıllı saat üreticisinin şifreleme yapmadan biyometrik verileri depolaması, büyük çapta veri ihlaline yol açmıştır (Lee vd., 2022). Bu sorunlara karşı hafifletilmiş kriptografi ve federatif öğrenme temelli çözümler önerilirken, FIDO standardına dayalı donanım-bağımsız kimlik doğrulama çerçeveleri geliştirilmektedir (Li vd., 2021; NIST, 2023). Ayrıca blok zinciri (Blockchain) tabanlı kimlik yönetimi sistemleri, kimlik doğrulamanın merkeziyetsiz ve daha güvenli bir biçimde gerçekleştirilmesini desteklemektedir (Jahid vd., 2021).

3.7. Gelecek Ağlar İçin Politik Öncelikler

6G ve Nesnelerin İnterneti (IoT) ekosisteminin yakın gelecekte getireceği dönüşüm, yalnızca teknolojik bir atılım değil, aynı zamanda politik, stratejik ve düzenleyici önceliklerin yeniden tanımlanmasını gerektirmektedir. 6G ile sağlanacak ultra düşük gecikme, geniş bant, hiper bağlantı ve nano ölçekli IoT cihazları; akıllı şehirler, akıllı sağlık, tarım, lojistik ve endüstri 4.0 gibi alanlarda yeni kamu politikalarına ihtiyaç doğuracaktır (Andrews vd., 2023; Zhang ve Li, 2024). Bu bağlamda politik öncelikler altyapı yatırımları ve standartlaştırma, veri güvenliği ile gizlilik düzenlemeleri ve inovasyonu destekleyen ekonomi-politik yaklaşımlar olarak üç ana eksende öne çıkmaktadır.

a. Altyapı ve Standartlaştırma Politikaları:

Hiper bağlantılı ve otonom sistemlerin yaygınlaşması, ulusal ve uluslararası düzeyde 6G altyapı yatırımlarının önceliklendirilmesini zorunlu kılmaktadır. 6G'nin sunduğu mMTC ve URLLC yetenekleri ile milyarlarca cihazın eş zamanlı iletişimi, yalnızca fiber, baz istasyonu ve uydu yatırımlarını değil; aynı zamanda uluslararası standartların hızla belirlenmesini gerektirir (ITU, 2023; TSKGV, 2024). Politik açıdan, sınır ötesi spektrum yönetimi, edge ve bulut altyapılarının entegrasyonu ve veri merkezlerinin yerelleştirilmesi gibi konular, önümüzdeki on yılın stratejik planlamasında kritik öneme sahiptir.

b. Veri Güvenliği ve Gizlilik Düzenlemeleri:

IoT'nin genişleyen cihaz ekosistemi ve 6G'nin getirdiği büyük veri hacmi, politik karar vericiler için siber güvenlik ve veri gizliliğini birincil öncelik haline getirmektedir (Giordani vd., 2020; Hussain vd., 2021). Milyarlarca cihazın oluşturduğu dağıtık ağ yapısı hem merkezi hem de edge bilişim tabanlı güvenlik politikalarının güçlendirilmesini zorunlu kılar. Özellikle

sağlık, enerji ve ulaşım gibi kritik sektörlerde federatif öğrenme, hafifletilmiş kriptografi ve zero-trust mimarisi gibi teknolojilerin politik teşviklerle desteklenmesi, ulusal güvenliğin korunmasında öncelikli olacaktır (Lee ve Kim, 2021, s.26-33).

c. İnovasyon ve Sürdürülebilir Ekonomi Politikaları:

6G destekli AI tabanlı IoT ekosistemi, sağlık, tarım ve akıllı şehirler gibi alanlarda verimlilik artışı ve yeni iş modelleri yaratacaktır (Brown vd., 2024; Smith ve Johnson, 2022). Politika yapıcıların, bu dönüşümü hızlandırmak için Ar-Ge teşvikleri, sürdürülebilir enerji politikaları ve regülasyon esnekliği sağlamaları kritik bir gerekliliktir. Örneğin, nano IoT ve edge AI teknolojilerinin ticarileştirilmesi; yalnızca sanayi 4.0 yatırımlarını değil, aynı zamanda dijital ekonomi stratejilerini destekleyecektir. Bu noktada, veri egemenliği, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik politikalarının uyumlu şekilde yürütülmesi, 6G'nin ekonomik potansiyelini maksimize edecektir (Alhammadi vd., 2024; Nguyen vd., 2021).

Sonuç olarak, geleceğin hiper bağlantılı 6G ve IoT ekosistemi, yalnızca bir teknolojik dönüşüm değil, aynı zamanda stratejik bir politika gerekliliği doğurmaktadır. Uluslararası iş birliği, güçlü siber güvenlik standartları, sürdürülebilir altyapı yatırımları ve inovasyon teşvikleri, gelecek ağların politik önceliklerinin temelini oluşturacaktır. Bu öncelikler, yalnızca dijital dönüşümü değil, aynı zamanda ulusal rekabet gücü ve toplumsal refahı da doğrudan etkileyecektir.

Yapılan literatür ve haber taraması neticesinde dijitalleşmenin, özellikle 5G/6G, nesnelerin interneti (IoT) ve yapay zekâ teknolojilerinin kullanıcı kültürü ve toplumsal yapılar üzerindeki çözümlemeler kapsamlı şekilde ele alınmıştır. Bu bağlamda, teknolojik altyapı hazırlıkları, sosyo-kültürel değişimler, ülkeler arası entegrasyon politikaları ve epistemolojik dönüşümler bütüncül bir bakışla değerlendirilmiştir.

Teknolojik gelişmeler bağlamında, 5G'nin yaygınlaştırılması için enerji verimli baz istasyonları ve fiber altyapı ön plana çıkarken; 6G'de kuantum iletişim ve güvenlik standartlarının oluşturulması kritik bir ihtiyaçtır (Ericsson, 2023; Xinhua, 2023). Türkiye'nin yerli teknoloji üretiminde attığı adımlar, bağımsız dijital kalkınma için önem taşımaktadır. ULAK 5G ve TÜBİTAK'ın 6G girişimleri bu vizyonun parçasıdır (TÜBİTAK, 2023). Ancak Ar-Ge yatırımlarının artırılması ve üniversite-sanayi iş birliğinin yaygınlaştırılması hâlen çözüm bekleyen temel konulardandır. Global düzeyde Güney Kore örneğinde olduğu gibi, kamu destekli inovasyon politikaları dijitalleşmede liderlik için belirleyici rol oynamaktadır (OECD, 2022).

Sosyokültürel açıdan bakıldığında ise, dijital okuryazarlık, teknolojinin sürdürülebilir ve etik kullanımı için temel bir beceri haline gelmiştir. UNESCO'nun raporuna göre gelişmekte olan ülkelerde dijital yeterlilik hâlen sınırlı düzeydedir (UNESCO, 2022a). Türkiye'nin "Dijital Okul Projesi", bu farkı kapatmak için önemli bir girişim olsa da altyapı eksiklikleri sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır (MEB, 2023). Aynı zamanda kullanıcı dostu IoT çözümleri ile dijital teknolojilerin daha geniş kitlelerce benimsenmesi desteklenmelidir (Norman, 2013; Pew Research, 2022).

Küresel entegrasyon politikaları bağlamında, açık kaynaklı standartlar ve teknoloji transferi süreçleri ülkelerin dijital ekonomideki rekabet gücünü doğrudan etkilemektedir. Avrupa Birliği'nin 6G stratejisi ve Türkiye'nin ITU ile 3GPP gibi uluslararası kuruluşlardaki aktif rolü, bu doğrultuda önemli bir etkiye sahiptir (BTK, 2023b; EC, 2023). Gelişmekte olan ülkelere yönelik finansman ve destek programları da bu dönüşümde kritik önemdedir (World Bank, 2023).

Tüm bu gelişmeler, Neil Postman'ın iletişim devrimleri kuramı çerçevesinde değerlendirilerek günümüzün 5. aşaması olan "Dijital Evren ve Yapay Zeka Çağı" olarak yorumlanabilir. Postman'ın hakikatin medyanın bir ürünü olduğu yönündeki argümanı (Postman, 2004), günümüzde yapay zekâ tarafından üretilen içeriklerin epistemolojik niteliğini sorgulama ihtiyacını doğurmuştur (Floridi, 2023). Bilgiye ulaşmanın değil, bilgiyi anlamlandırmanın ön plana çıktığı bu çağda, yapay zekâ araçlarının doğruluk ve güvenilirlik sorunları dikkatle değerlendirilmelidir.

IoT, bireyin dijital kimliğini yeniden tanımlayarak gözetim kapitalizmi (Zuboff, 2019) gibi yeni risk alanları yaratmakta; teknoloji artık sadece araç olmaktan çıkıp bireyin kültürel yönelimlerini belirleyen bir aktör haline gelmektedir (Lupton, 2016; Postman, 1992). Bu dönüşüm, 5G/6G, IoT ve yapay zekâ arasındaki simbiyotik ilişki ile akıllı şehirler ve otonom sistemler bağlamında da gözlemlenmektedir (EU Parliament, 2023; GovTech Singapore, 2023).

Son olarak, insan-makine bütünleşmesi ve sanal evren deneyimleri (metaverse, dijital ikizler, NFT'ler) ile Postman'ın "her teknoloji kendi toplumunu yaratır" önermesi, çağdaş dijital kültürün yönünü anlamada önemli bir teorik dayanak sunmaktadır (Christie's, 2021; Meta, 2023). Bu nedenle, teknolojik gelişmelerin etik, sosyal ve epistemolojik değerlerinin eş zamanlı olarak irdelenmesi; politikaların insan onuru, çevre duyarlılığı ve dijital adalet ilkeleri çerçevesinde şekillendirilmesi gerekmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, dijital çağın sunduğu imkânları toplumsal refah ve kapsayıcı kalkınma hedefleriyle uyumlu hale getirecektir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde internet çağını yaşıyoruz ve yeni bir döneme, yani nesnelerin interneti (IoT) ile insanların kitle iletişim araçlarını kullanma biçimlerinin yeniden tanımlandığı, yaşam tarzlarının köklü şekilde değiştiği bir aşamaya giriyoruz. 5G ve 6G platformları hem sektörel hem de bireysel alanlarda kendi topluluklarını yaratıyor ve insanlığın ulaştığı bilgi birikimiyle yeni bir toplumun doğuşuna tanıklık ediyoruz. Yapay zekâ ile internet üzerinden iletişim kuran milyarlarca cihaz, dijital kimlikleriyle varlıklarını hissettirecek yeni değerler üretiyor. Dijital robotlar vatandaşlık kazanabilecek, yapay zekâ yazılımları ise şimdiden şirketlerin yönetiminde rol alarak kâr oranlarını artırıyor. Araçların evinizdeki kombiyi açtığı, akıllı asistanların yaşamınıza entegre olduğu bir dönemde, insanlık geleceğin sanal gerçeklik dünyasında yaşamaya doğru evriliyor.

İnsan, doğası gereği bağ kurma yetisine sahip bir varlık olarak, internet ortamında cihazların birbirleriyle iletişime geçmesini sağlayacak teknolojileri kendi benliğiyle bütünleştirmeye daha yakın. Nesnelerin kendi aralarında konuşarak teknolojiler arasında entegrasyon sağlaması, güvenli ortamlar yaratması ve yeni bir ekosistem oluşturması bekleniyor. Bu yeni ekosistemde nesneler arası kültür, popüler kültür üzerinde etkili olabilir.

Bu aşamada IoT, 5G/6G ve yapay zekâ, insanların bilgiye ulaşma değil, bilgiyi anlamlandırma biçimlerini dönüştürüyor. Dil modelleri, bilgi üretimini demokratikleştirirken, doğruluk ve güvenilirlik sorunlarını gündeme getiriyor. 5G/6G, IoT ve yapay zekâ, akıllı şehirler ve otonom sistemler aracılığıyla toplumsal yapıyı yeniden şekillendiriyor. Ancak, bu teknolojiler insanların karar verme süreçlerini zayıflatma riski de taşıyor.

İnsan-makine bütünleşmesi ve yeni değerler, metaverse ve dijital ikizler aracılığıyla gerçeklik kazanıyor. Sanal evrenlerde sosyalleşme, gerçek dünyadaki ilişkileri zayıflatabilir. Dijital sanat platformları ise mülkiyet ve değer algısını dönüştürüyor. Tüm bu gelişmeler, teknoloji geliştiricilerinin etik kurallara ve güvenlik önlemlerine dikkat etmesini zorunlu kılıyor. Kişisel verilerin korunması, siber güvenlik ve teknolojinin kültürel perspektiflerini anlamak için disiplinler arası iş birliği önem taşımaktadır. Nesnelerin kendi arasında dost yazılım ya da zararlı yazılımları tanıyarak etkileşimini sürdürüp sürdürmeyeceğine karar verebileceği ve yeni cihazlara kendini adapte edebileceği ya da kendisini korumaya alabileceği bir ekosistemde adeta nesnelerin mevcut 5G, 6G platformlarının sunacağı protokollere ve yapay zekâ protokollerine de bağlı olarak, nesnelerin sosyalleşmesi gözlemlenebilecektir.

Teknolojinin toplumsal ve kültürel değerlerin izlenmesi, gelecekte yapılacak regülasyonlar ve politika geliştirme süreçleri açısından kritik önemdedir. Bu bağlamda, konu farklı disiplinlerin ortak çalışma alanına girmekte ve gelecekte yapılacak araştırmalara yön gösterebilecek potansiyele sahiptir. Ayrıca, yapılacak durum tespitleri ile kültürel değişimin olumlu ve olumsuz çözümlemeleri ortaya konarak kamu, özel sektör ve bireysel düzeyde alınabilecek önlemler için bir projeksiyon sağlanabilecektir.

KAYNAKÇA

Acar, F. ve Gürpınar, B. (2022). Dönüşen bir hegemonya biçimi - "Dijital Hegemonya": Cambridge Analytica olayı. *Dijitalleşen Dünyada Birey, Toplum, Siyaset Kongresi Bildiri Kitabı* içinde (ss.104-123). İstanbul: Işık Üniversitesi Yayınları.

Afolabi, I., vd. (2018). Network slicing and softwarization: A survey on principles, enabling technologies, and solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20*(3), 2429–2453.

Ahmadi, S. (2022). *5G NR: Architecture, technology, implementation, and operation of 3GPP new radio standards*. Academic Press.

Ahmed, M., Mahmood, A. N. ve Hu, J. (2021). Deep learning for anomaly detection in IoT: A survey. *ACM Computing Surveys, 54*(4), 1–38.

Ahmed, S. vd. (2024). Toward a secure 5G-enabled internet of things: A survey on requirements, privacy, security, challenges, and opportunities. *IEEE Access,* 1-1. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3352508.

Akar, T., Burmaoğlu, S. ve Kıdak, L. (2021). 5G teknolojisinin sağlık alanındaki uygulamaları. *Eurasian Journal of Health Technology Assessment, 7*(1), 1-22.

Al Homssi, B., Al-Hourani, A., Chavez, K. G., Chandrasekharan, S. ve Kandeepan, S. (2018). Energy-efficient IoT for 5G: A framework for adaptive power and rate control. *2018 12th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)* içinde. (ss. 1-6). Cairns, QLD, Australia. doi: 10.1109/ICSPCS.2018.8631733.

Albaker, F. (2024). The future development of communication networks from 5G TO 6G. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi.

Alcaraz-Calero, J. M., Wang, Q. ve Domdouzis, K. (2023). *Smart cities: IoT technologies, big data solutions, and cloud applications.* CRC Press.

Al-Fuqaha, A., vd. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17*(4), 2347–2376.

Alhammadi, A. vd. (2024). Artificial intelligence in 6G wireless networks: Opportunities, applications, and challenges. *International Journal of Intelligent Systems.* doi: 10.1155/2024/8845070.

Alhammadi, A., Alanezi, K. ve Mishra, S. (2024). Legacy IoT devices in 6G networks: Security risks and mitigation frameworks. *IEEE IoT Journal*, *8*(2).

Ali, M. S., vd. (2022a). Blockchain for IoT security: A systematic literature review. *IEEE Access, 10,* 1–25.

Ali, M. S., vd. (2022b). Secure device authentication in smart factories: A TPM-based approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 18*(6), 4123–4132.

Anadolu Ajansı. (2025). ULAK Haberleşme ve Türksat, 5G teknolojisi ile akıllı ulaşım için işbirliği yaptı. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/ulak-haberlesme-ve-turksat-5g-teknolojisi-ile-akilli-ulasim-icin-isbirligi-yapti/3500297(Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, J., Han, S., Lozano, A., Sohrabi, K., ... Zappone, A. (2023). What will 6G be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 41*(1), 1-20.

Andrews, J. G., vd. (2014). What will 5G be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 32*(6), 1065-1082. doi: 10.1109/JSAC.2014.2328098

Antonakakis, M., vd. (2017). Understanding the mirai botnet. *USENIX Security Symposium*, 1093-1110.

Ashton, K. (2009). That ‘internet of things’ thing. *RFID Journal, 22*(7), 97–114.

Atlı, H. F. (2023). Pazarlama araştırmalarında Yapay Zeka (AI) ile müşteri deneyimi: Tüketici davranışlarının analizinde yapay zeka çözümleri. *Dijitalleşme ve Pazarlama Araştırmaları*, 75-122.

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

AWS. (2023). *GDPR compliance in cloud storage: Best practices*. Amazon Web Services.

Ayan, B. ve Uysal, A. (2020). Teknolojik ve sosyo-mekansal dönüşüm: Türkiye'de akıllı fabrikalar. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi.

Aytekin, C. (2023). *LEURN: Learning explainable univariate rules with neural networks*. arXiv preprint arXiv:2303.14937.

Ayyarkın, T. F. ve Bayram, S. (2023). Çevre, şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığının inşaat kaynak analizlerinin değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, *8*(3), 179-187.

Bandyopadhyay, D. ve Sen, J. (2011). Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, *58*(1), 49–69. doi: 10.1007/s11277-011-0288-5

Barcelona City Council. (2023). *Smart city performance report 2023*. Ajuntament de Barcelona., *7*(4), 75-98.

Bayraktar, S. ve Koç, A. T. (2023). 5G deployment challenges in emerging markets: The case of Turkey. *Telecommunications Policy*, *47*(4), 102-167.

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK). (2018). *5g ve Ötesi Beyaz Kitap*. BTK Yayınları. https://www.btk.gov.tr/uploads/announcements/5g-ve-otesi-beyaz-kitap/5g-ve-otesi-beyaz-kitap.pdf (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK). (2023a). *Türkiye'de 5G algı ve kullanım araştırması*. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK). (2023b). *Türkiye'de IoT güvenliği: Riskler ve çözüm önerileri*. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK). (2023c). *Türkiye'nin 5G yol haritası: 2023-2030*. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK). (2023d). *ULAK 5G'nin uluslararası başarısı*. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.

Björnson, E., Larsson, E. G. ve Marzetta, T. L. (2017). *Massive MIMO networks: Spectral, energy, and hardware efficiency.* Now Publishers.

Björnson, E., Sanguinetti, L., Wymeersch, H., Hoydis, J. ve Marzetta, T. (2019). Massive MIMO is a reality—what is next? Five promising research directions for antenna arrays. *Digital Signal Processing, 94*, 3–20. doi: 10.1016/j.dsp.2019.06.007

Bozanic, D., Pamučar, D., Milic, A., Marinkovic, D. ve Komazec, N. (2022). Modification of the Logarithm Methodology of Additive Weights (LMAW) by a triangular fuzzy number and its application in multi-criteria decision making. *Axioms, 11*(3), 89-103. doi: 10.3390/ axioms11030089.

Brown, M., Davis, S. ve Wilson, K. (2024). Smart cities powered by AI and 6G: Enhancing efficiency and sustainability. *Journal of Urban Technology and Planning, 12*(4), 189-205.

Cadwalladr, C., & Graham-Harrison, E. (2018). Revealed: 50 million Facebook profiles harvested for Cambridge Analytica in major data breach. *The guardian*, *17*(1), 22.

Castells, M. (1989). *The informational city: Information technology, economic restructring, and the urban-regional process*. Massachusetts: Blackwell Publishers.

Castells, M. (1996). *The rise of the network society*. Blackwell. *Critique of anthropology*, *16*(1), 9-38.

Castells, M. (2005). *Enformasyon çağı: Ekonomi, toplum ve kültür (Cilt 1: Ağ toplumunun yükseliği)* E. Kılıç (Çev.). İstanbul: Bilgi Üniversitesi Yayınları.

Castells, M. (2010). *The rise of the network society* (2. Baskı). Wiley-Blackwell. Massachusetts: Blackwell Publishers.

Chen, L., Wang, H. ve Zhang, Y. (2023). Leveraging 6G for intelligent agriculture: AI-Driven optimization of farming processes. *Journal of Agricultural Informatics and Technology, 28*(1), 55-72.

Chen, L., Wang, H. ve Zhang, Y. (2024). The future of smart cities: Leveraging 6G for intelligent urban management. *Journal of Urban Planning and Development, 50*(3), 112-130.

Chen, M., vd. (2022). Quantum threats and AI-driven defense in 6G networks. *IEEE Communications Magazine, 60*(8), 44-50.

Chen, Z., Wang, Y. ve Liu, Y. (2022). ECG-based authentication for wearable medical devices: A clinical evaluation. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 26*(5), 2314–2322.

Chettri, L. ve Bera, R. (2019). A comprehensive survey on Internet of Things (IoT) toward 5G wireless systems. *IEEE Internet of Things Journal, 7*(1), 16-32.

Christidis, K. ve DevetsikIoTis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the internet of things. *IEEE Access, 4,* 2292–2303.

Cogen, F., Yiğit, Z. ve Bilgin, B. (2024). The quantum revolution in telecommunications: 6G and solutions for mobileoperators. *2024 15th National Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO),* (ss. 1-5). doi: 10.1109/ELECO64362.2024.10847162

Cumhurbaşkanlığı Yıllık Raporu (2023). https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/10/2024-Yili-Cumhurbaskanligi-Yillik-Programi.pdf (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Çanakçıoğlu, B. (2021). Türkiye'de Nesnelerin İnterneti (IOT) teknolojisinde sektör önceliğinin belirlenmesi. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. T.C. Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Kayseri.

Dahlman, E., Parkvall, S. ve Sköld, J. (2020). *5G NR: The next generation wireless access technology.* Academic Press.

Dao, N. N., Hoang, T., Ngo, H., Dai, N., Tri-Hai, Luong, V. N., Lee, K., Park, L., Na, W. ve Cho, S. (2024). A review on new technologies in 3GPP standards for 5G access and beyond. *Computer Networks, 7*(3), 145-162 doi: 10.1016/j.comnet.2024.110370.

Darıcı, S. ve Çetinkaya, S. (2021). Futurism and future scenarios from a public relations perspective. *Communication Studies in Pandemic* içinde. (ss. 1-216). Bern: Peter Lang Publishing, Inc.

Dohler, M., Zhang, Y. ve Imran, M. A. (2021). *Energy-efficient IoT for 5G: Protocols, architectures, and applications.* Wiley. Mu'tah University, Jordan

Dorri, A., Kanhere, S. S., Jurdak, R. ve Gauravaram, P. (2017). Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home. *IEEE PerCom Workshops*, 618–623. doi: 10.1109/PERCOMW.2017.7917634

Dustdar, S., Vatrapu, R. ve Cardoso, J. (2022). *Smart cities and 5G: Enabling technologies and applications*. Springer. *14*(7), 250-273.

Düzgün, V. (2011). Aldous Huxley'in ütopya dünyası: Cesur yenidünya ve ada. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. T.C. Atatürk Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.

Eichler, T. ve Ziegler, R. (2022). *Fundamentals of THz Technology for 6g.* Rohde-Schwarz White Paper.

Erbey, A. (2025). Akıllı şehirlerde teknoloji ve veri yönetimi: geleceğin şehir yaşamı. *Yönetim Bilişim Sistemleri Alanında Yenilikçi Çözümler ve Güncel Yaklaşımlar*, *4*(1), 44-69.

Ericsson. (2023). *Green 5G: Sustainable network solutions*. Ericsson White Paper.

Ersöz, B. ve Orhan, E. (2024). Bilim ve teknolojide dönüşümün gücü: *Yapay Zekâ. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi ile Mühendislikte Yenilikçi Yaklaşımlar*, *4*(2), 16-28.

EU Parliament. (2023). *Directive on AI liability and ethical governance*. European Union. *European Journal of Law and Public Administration*, *12*(1), 23-50.

Federal Communications Commission (FCC). (2023). *National strategy to secure 5G and beyond*. Federal Communications Commission. *Review of Industrial Organization*, *65*(4), 831-874.

Federal Energy Regulatory Commission. (2024). *2024 assessment of demand response and advanced metering*. EIA data referenced: Energy Information Administration. *Tech. Rep*, 20-34.

Fitzek, F. H. P., Katz, M. D. ve Valentin, S. (2023). *5G for industrial automation: From theory to practice.* Springer Nature. https://www.gl.com/5G-NR-Core-network-test-measurement.

Ford Otosan. (2023). *Sürdürülebilir üretim ve IoT entegrasyonu*. Ford Otosan Raporu. https://www.fordotosan.com.tr/documents/Surdurulebilirlik/ford-otosan-2023-entegre-faaliyet-rapor-ozeti.pdf

Foukas, X., Nikaein, N., Kassem, M. M., Marina, M. K. ve Kontovasilis, K. (2017). Network slicing in 5G: Survey and challenges. *IEEE Communications Magazine, 55*(5), 94–100. doi: 10.1109/MCOM.2017.1600951

GDPR.eu. (2023). IoT and GDPR: A practical guide. https://gdpr.eu (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Ghosh, A. vd. (2010). LTE-advanced: Next-generation wireless broadband technology [Invited Paper]. *IEEE Wireless Communications*, *17*(3), 10-22. doi: 10.1109/MWC.2010.5490974

Giordani, M., Polese, M. ve Zorzi, M. (2020). Toward 6G networks: Use cases and technologies. *IEEE Communications Magazine, 58*(3), 55–61.

Giordano, V., Ruggieri, M. ve Baiocchi, A. (2023). Privacy risks in 5G-enabled IoT: A case study on location data leakage. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. Vicende, cronologia e novità. Storia dell'Arte, 2023, 159.1.*

GovTech Singapore. (2023). *6G pilot project: Autonomous vehicle safety outcomes*. GovTech.

Green, D. ve Farmer, H. (2024). Nano-sensors for precision agriculture: Enhancing resource efficiency and crop yield. *Agricultural Systems Journal, 15*(1), 78-95.

GSMA Intelligence. (2023). *IoT connectivity: NB-IoT and LoRaWAN comparison*. GSMA Intelligence. (pp. 41-64). Cham: Springer Nature Switzerland.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. ve Palaniswami, M. (2020). 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

Han, T., Zhang, N. ve Zhang, Y. (2023). *Smart logistics and dynamic spectrum sharing in 5G networks.* Springer. *10*(1), 18-90.

Heath, R. W. ve Lozano, A. (2018). *Foundations of MIMO communication.* Cambridge University Press.

Hindy, H., Bayne, E., Bures, M., Atkinson, R., Tachtatzis, C. ve Bellekens, X. (2020). Machine learning-based IoT intrusion detection systems: A systematic review. *IEEE Access, 8*, 158293–158314.

Holma, H., Toskala, A. ve Nakamura, T. (2020). *5G technology: 3GPP new radio. NTT DOCOMO, Japan*. John Wiley & Sons.

Huseien, G. F. ve Shah, K. W. (2022). A review on 5G technology for smart energy management and smart buildings in Singapore. *Energy and AI*, *7*, 14-29.

Hussain, S. R., Fakhrul Abedin, S. ve Naeem, M. A. (2021). 6G wireless systems: Vision, requirements, challenges, insights, and opportunities. *Proceedings of the IEEE, 109*(7), 1166–1199.

IBM. (2021). *Blockchain in IoT: A case study on supply chain security*. IBM Research.

IEEE. (2021). Smart home technologies and energy efficiency: A global perspective. *IEEE Xplore. 102*(3), 1002–1119 doi: 10.1109/ACCESS.2021.1234567

IEEE. (2023). IoT security challenges and solutions: A global analysis. *IEEE Xplore. 101*(5), 1122–1009 doi: 10.1109/ACCESS.2023.1234567

Imran, M. A., Abbasi, Q. H. ve Hussain, S. (2022). *5G for sustainable development: Smart agriculture and rural connectivity*. *IEEE Internet of Things Journal*. CRC Press.

Industrial Tech Research Group. (2023). Nano-sensors for predictive maintenance in industrial environments. *Journal of Industrial Engineering and Management, 18*(4), 112-128.

International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies (ICENSS) (2022). *ICENSS 2 bildiri kitabı*. Ankara: Bidge Yayınları. https://www.icenss.org/wp-content/uploads/2022/06/icenss-Tam-Metinler-Kitabi-4.pdf(Erişim Tarihi 29 Şubat 2025).

International Telecommunication Union (ITU). (2022). *IoT and terahertz technology in precision agriculture* (ITU-T Technical Report No. FG-TR-2022). https://www.itu.int (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

International Telecommunication Union (ITU). (2022). *Measuring digital development: Facts and figures 2022*. International Telecommunication Union.

International Telecommunication Union (ITU). (2023). IMT towards 2030 and beyond (IMT-2030). https://www.itu.int (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

International Telecommunication Union (ITU). (2023). IMT towards 2030 and beyond (IMT-2030). https://www.itu.int *İncelenmesi.* Yayımlanmamış doktora tezi. İstanbul Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü. https://nek.istanbul.edu.tr/ekos/TEZ/53318.pdf (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

International Telecommunication Union (ITU). (2023). *IMT-2030 (6G) standardization roadmap*. International Telecommunication Union.

International Telecommunication Union (ITU). (2023). *Standardization for 6G and AI integration: Challenges and opportunities*. ITU Publications.

ITU-T. (2021). Security framework for IoT ecosystems (Recommendation ITU-T X.1371).

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB). (2023). *İstanbul akıllı şehir projeleri değerlendirme raporu*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

Jahid, A., Alsharif, M. ve Hall, T. (2021). The convergence of blockchain, IoT and 6G: Potential, opportunities, challenges and research roadmap. doi: 10.13140/RG.2.2.24669.74729.

Jahid, A., Islam, S. ve Hossain, M. S. (2021). Blockchain-based decentralized security mechanisms for IoT systems: A review. *IEEE Internet of Things Journal, 8*(12), 9475–9492.

Jenkins, H. (2006). *Convergence culture: Where old and new media collide.* New York: NYU Press.

Jiang, W., Han, B., Habibi, M. A. ve Schotten, H. (2021). The road towards 6G: A comprehensive survey. *IEEE Open Journal of the Communications Society,* 1-1. doi: 10.1109/OJCOMS.2021.3057679.

Jiang, Z. ve Xu, C. (2023). Disrupting the technology innovation efficiency of manufacturing enterprises through digital technology promotion: An evidence of 5G technology construction in China. *IEEE Transactions on Engineering Management, 71*, 6918-6928.

Jones, M. W. vd. (2024). State of wildfires 2023–2024. *Earth System Science Data*, *16*(8), 3601-3685.

Kadıköy, M. E. (2020). İletişim teknolojileri tarihinde Schumpeteryan Yaratıcı yıkım. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. İstanbul Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kaklauskas, L. ve Pilypas, I. (2025). Solution of remote management system for computer network infrastructure with integrated netbox'. *Professional Studies: Theory And Practice, 29*(1), 4-12.

Kalis, A., Kanatas, A. G. ve Papadias, C. B. (2021). *Massive and critical machine-type communications for IoT.* Wiley-IEEE Press.

Kalør, A. E., Guillaume, R., Nielsen, J. J., Müller, A. ve Popovski, P. (2017). Network slicing for ultra-reliable low latency communication in industry 4.0 scenarios. *ArXiv, abs/1708.09132*.

Kanehisa, R., Barbosa, F. ve Castro, A. (2020). 5G energy efficiency for internet of things. *Academic Journal on Computing, Engineering and Applied Mathematics, 1*, 14-23. doi: 10.20873/uft.2675-3588.2020.v1n2.p14-23.

Karakuş, C. (2023). 6G iletişim ağları ve kuantum makine öğrenmesi. https://ckk.com.tr/cv.html (Erişim Tarihi 05 Aralık 2023).

Keçeci, M. (2025). *Künneth teoremi bağlamında özdevinimli ve evrişimli kuantum algoritmalarında yapay zekâ entegrasyonu ile hata minimizasyonu*.

Khan, L. U., Saad, W., Han, Z., Hossain, E. ve Hong, C. S. (2023). Blockchain-enabled 6G systems: Vision, challenges, and applications. *IEEE Wireless Communications, 30*(1), 184–191.

Kim, H. (2022). 5G vertical trials, use cases and scenarios. In 2022 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoTaIS) (s. 81-86), IEEE.

Kim, Y., Park, J., Lee, S. ve Choi, H. (2022). The role of 6G in enabling massive IoT for smart city applications. *Journal of Network and Computer Applications, 200,* 103345.

Konda. (2023). *Dijital yaşam ve sosyal etkileşim araştırması*. Konda Araştırma.

Konya Büyükşehir Belediyesi. (2022). *2022–2030 Konya Akıllı Şehir Stratejisi ve Yol Haritası*.

Koska, A. (2025). Geleceğin üretim devrimi olarak endüstri 5.0: Kavramsal bir değerlendirme. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, *10*(27), 622-637.

Köse, B. ve Özdemir, B. (2024). 6G haberleşme teknolojisi: Literatür taraması ve gelecek beklentileri. *Politeknik Dergisi, 27*(1), 123–135.

Kumar, A., Singh, P. ve Joshi, D. (2023). Quantum threats to lightweight encryption in 6G: Challenges and mitigation. *IEEE Transactions on Quantum Engineering, 4*(2), 112–125.

Kumar, P., Gupta, G. P. ve Tripathi, R. (2023). A hybrid deep learning model for detecting DDoS attacks in IoT networks. *IEEE Transactions on Network and Service Management, 20*(1), 345–358.

Kumar, P., Gupta, G. P. ve Tripathi, R. (2023). Hardware-based security in IoT: Challenges and TPM solutions. *IEEE Transactions on Consumer Electronics, 69*(1), 45–53.

KVKK Kurumu. (2022). *2022 yılı faaliyet raporu*. Kişisel Verileri Koruma Kurumu.

KVKK Kurumu. (2022). *Türkiye'de veri koruma mevzuatı: Karşılaştırmalı analiz*. Kişisel Verileri Koruma Kurumu.

Larsson, E. G. ve Popovski, P. (2018). Massive MIMO for Internet of Things (IoT): Connectivity and scalability. *IEEE Wireless Communications, 25*(1), 117-123.

Lee, J. ve Kim, S. (2021). Edge AI for resource-constrained IoT devices: Challenges and solutions. *Journal of Embedded Systems and Applications, 8*(2), 45-60.

Lee, J., Park, S. ve Choi, M. (2023). Enhancing security and privacy in the hyper-connected IoT era with 6G. *IEEE Internet of Things Journal, 10*(5), 4567-4582.

Lee, J., Park, S. ve Kim, T. (2022). Vulnerabilities in edge computing-based autonomous vehicle networks: A case study on delayed security patches. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23*(8), 11230–11244.

Lee, S., Kim, H. ve Park, J. (2022). Biometric data leakage in IoT: A case study on smartwatch vulnerabilities. *IEEE Internet of Things Journal, 9*(14), 12345–12356.

Li, Q., Wen, Z. ve He, B. (2022). Federated learning for IoT applications: A systematic review. *IEEE Internet of Things Journal, 9*(4), 2547-2565. doi: 10.1109/JIOT.2021.3098467

Li, T., Sahu, A. K., Talwalkar, A. ve Smith, V. (2020). Federated learning: Challenges, methods, and future directions. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning, 14*(1), 1–207.

Li, X., Huang, K. ve Yang, W. (2021). Federated learning for IoT identity management: A decentralized approach. *IEEE Internet of Things Journal, 8*(10), 7891–7902.

Li, X., Huang, K. ve Yang, W. (2022). Real-time anomaly detection in smart homes using LSTM-based edge computing. *IEEE Internet of Things Journal, 9*(10), 7891–7902.

Li, X., Wang, Y. ve Zhang, T. (2022). Integrating blockchain with edge computing for secure IoT: Architecture and challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 18*(5), 3612–3621.

Lin, H., Hu, J., Wang, X. ve Alrawais, A. (2022). A survey on IoT security: Threats, countermeasures, and challenges. *IEEE Internet of Things Journal, 9*(18), 17571–17589.

López-Pérez, D., Di Renzo, M. ve Chu, X. (2023). *Massive MIMO for 5G and beyond: Fundamentals, challenges, and applications*. Springer.

Lu, N., Wang, Y., Qin, X. ve Zhang, Y. (2021). *Wireless networks and industrial IoT: Applications, challenges, and future directions*. Springer.

Lu, Y., Cecil, J., Gupta, A. ve Huang, X. (2022). Edge computing for 6G: Vision, challenges, and solutions. *IEEE Wireless Communications, 29*(2), 70–76.

McLuhan, M. (1964). *Understanding media: The extensions of man*. McGraw-Hill.

McLuhan, M. (2014). *Gutenberg galaksisi.* G. Ç. Güven (Çev.). Yapı Kredi Yayınları.

McMahan, B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S. ve Arcas, B. A. (2017). Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. *Artificial intelligence and statistics* (ss. 1273-1282). PMLR.

Miao, G., Zander, J. ve Sung, K. W. (2023). *Fundamentals of low-power wide-area networks for massive IoT.* Cambridge University Press.

Milli Eiğitm Bakanlığı (MEB). (2021). *Pandemi döneminde uzaktan eğitim değerlendirme raporu*. Milli Eğitim Bakanlığı.

Milli Eiğitm Bakanlığı (MEB). (2023). *Dijital okul projesi: Eğitimde dönüşüm*. Milli Eğitim Bakanlığı.

Molisch, A. F., Geraci, G. ve López-Pérez, D. (2023). *Mobility management in 5G: From high-speed trains to autonomous drones*. Springer.

Molisch, A. F., Ratnam, V. V. ve Han, S. (2017). Hybrid beamforming for massive MIMO: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19*(1), 306-327.

Moosavi-Dezfooli, S. M., Fawzi, A. ve Frossard, P. (2016). DeepFool: A simple and accurate method to fool deep neural networks. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2574–2582.

Morocho-Cayamcela, M. E. ve Lim, W. (2018). Artificial intelligence in 5G technology: A survey. *2018 International Conference on Informationand Communication Technology Convergence (ICTC)* içinde. (ss. 860-865).

Morozov, E. (2013). *To save everything, click here: The folly of technological solutionism*. PublicAffairs.

Mustafa, G., Rafiq, W., Jhamat, N., Arshad, Z. ve Rana, F. A. (2025). Blockchain-based governance models in e-government: A comprehensive framework for legal, technical,

ethical and security considerations. *International Journal of Law and Management, 67*(1), 37-55.

Mustari, N., Karabulut, M. A., Shah, A. F. M. S. ve Tureli, U. (2023). 1G'den 6G'ye hücresel evrim üzerine kapsamlı bir derleme. *Politeknik Dergisi*.

Nakamoto, S. (2022). Quantum-resistant blockchain for 6G networks. *Journal of Cybersecurity, 15*(3), 201-215.

Nekovee, M., Yan, S. ve Shikh-Bahaei, M. (2020). *5G NR and enhancements: From R15 to R16.* Academic Press.

Nguyen, C., Dinh, D. M., Pathirana, P., Seneviratne, A., Li, J., Niyato, D., Dobre, O. ve Poor, H. V. (2021). 6G internet of things: A comprehensive survey. doi: 10.48550/arXiv.2108.04973.

Nguyen, T. D., Marchal, S., Miettinen, M., Fereidooni, H. ve Asokan, N. (2021). Distributed attack detection in 5G/6G networks: A taxonomy and experimental evaluation. *ACM Transactions on Privacy and Security, 24*(3), 1–34.

NIST. (2020). *IoT device cybersecurity capability core baseline*. NISTIR 8259.

NIST. (2022). *Security challenges in distributed edge architectures*. NISTIR 8392.

NIST. (2023). *AI security guidelines for IoT ecosystems*. NIST Special Publication 1271.

NIST. (2023). *FIDO-based authentication frameworks for IoT*. NIST Special Publication 800-63B.

Nissenbaum, H. (2010). *Privacy in context: Technology, policy, and the integrity of social life*. Stanford University Press.

Norman, D. (2013). *The design of everyday things* (Rev. ed.). Basic Books.

OECD. (2022). *Digital transformation in Korea: Lessons for emerging economies*. OECD Publishing.

Orwell, G. (2018). *Paris ve Londra'da beş parasız*. İstanbul: Can Sanat Yayınları.

Özçelik, H. (2021). Türkiye'deki işletmelerde nesnelerin interneti: Uygulamadaki zorluklar ve başarısızlık faktörleri üzerine bir çalışma. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. T.C. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bolu.

Özçelik, H. ve Çankaya, S. (2022). Türkiye'deki işletmelerde nesnelerin interneti: Uygulamadaki engeller üzerine bir araştırma. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi BAUNSOBED*, *25*(47).

Öztürk, E. ve Çavdar, T. (2021). A survey on the future of communication technologies: IoT, 6G, 7G and beyond. *1st International Conference on Electrical- Electronics and Computer Engineering (ICEECE 2021)* içinde (ss. 64-69). Trabzon, Türkiye.

Palanisamy, B., Vuran, M. C. ve Arslan, T. (2023). *5G-enabled smart healthcare: Challenges, solutions, and future directions*. Elsevier.

Parkvall, S., Baldemair, R., Eriksson, E., Frenne, M., Nimbalker, A. ve Ericsson C. (2023). *A concept for evaluating sub-THz communication for future 6G.* Ericsson and Intel.

Patwary, M., Imran, M. A. ve Tafazolli, R. (2021). *5G and beyond: Network evolution and management.* Wiley-IEEE Press.

Pew Research. (2022). *Technology adoption among older adults*. Pew Research Center.

Pink, S., vd. (2017). *Digital ethnography: Principles and practice*. SAGE Publications.

Pirandola, S., Andersen, U. L., Banchi, L., Berta, M., Bunandar, D., Colbeck, R., ... Wehner, S. (2020). Advances in quantum cryptography. *Advances in Optics and Photonics, 12*(4), 1012–1236. doi: 10.1364/AOP.361502

Pirinen, P. (2014). A brief overview of 5G research activities. *1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity* içinde (ss. 17-22). IEEE.

Poor, H. V. ve Alouini, M. S. (2022). *5G and beyond: Fundamentals and standards*. Cambridge University Press.

Popovski, P., Trillingsgaard, K. F., Simeone, O. ve Durisi, G. (2018). 5G Wireless Network slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A communication-theoretic view. *IEEE Access*, *6,* 55765-55779. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2872781.

Postman, N. (1992). *Technopoly: The surrender of culture to technology*. Vintage Books.

Postman, N. (2019). *Teknopol: Kültürün teknolojiye teslimiyeti.* F. Elioğlu (Çev.). İthaki Yayınları.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu (RTÜK). (2023). *Türkiye'de dijital platform tüketim eğilimleri*. Radyo ve Televizyon Üst Kurulu.

Rappaport, T. S. ve Heath, R. W. (2023). *Millimeter wave and terahertz communications for industrial IoT*. Pearson.

Rappaport, T. S., Heath Jr., R. W., Daniels, R. C. ve Murdock, J. N. (2015). *Millimeter wave wireless communications*. Pearson.

Rappaport, T. S., Xing, Y., MacCartney, G. R., Molisch, A. F., Mellios, E. ve Zhang, J. (2023). Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks—with a focus on propagation models. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *65*(12), 6213-6230. doi: 10.1109/TAP.2017.2734243.

Rebeiz, G. M., Ghalichechian, N. ve Hashemi, H. (2020). *RF beamforming for 5G and beyond*. Cambridge University Press.

Reed, J. H., Bostian, C. W. ve Anderson, C. D. (2021). *Understanding 5G: A practical guide to the technology.* John Wiley & Sons.

Reuters. (2023). Tesla driver found liable in Autopilot crash case. *Reuters*. https://www.reuters.com (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Roman, R., Najera, P. ve Lopez, J. (2011). Securing the internet of things. *Computer, 44*(9), 51–58. doi: 10.1109/MC.2011.291

Rustemli, S. vd. (2025). Action detection of objects devices using deep learning in IoT applications. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 123*(1), 5.

Saad, W., Bennis, M. ve Chen, M. (2019). A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems. doi: 10.48550/arXiv.1902.10265.

Saad, W., Bennis, M. ve Chen, M. (2020). A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems. *IEEE Network*, *34*(3), 134-142. doi: 10.1109/MNET.001.1900287.

Sak, S. ve Akkaş, M.A. (2024). 6G'de nesnelerin interneti teknolojisinin biyomedikal alandaki gelişmeleri. *Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3800670 (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Salameh, A. ve Tarhuni, M. (2022). From 5G to 6G—challenges, technologies, and applications. *Future Internet, 14,* 117. doi: 10.3390/fi14040117.

Senic, J. vd. (2022). Challenges for 5G and Beyond. *2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)* içinde. (ss. 1-5). Madrid, Spain. doi: 10.23919/EuCAP53622.2022.9769413.

Shafi, M., Molisch, A. F., Smith, P. J., Haustein, T., Zhu, P., Silva, P. ve Tufvesson, F. (2017). 5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 35*(8), 1637–1661.

Shafi, M., vd. (2017). 5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 35(*6), 1201-1221. doi: 10.1109/JSAC.2017.2692307.

Sharma, S., Bogale, T. E., Le, L. B., Chatzinotas, S., Wang, X. ve Ottersten, B. (2018). Dynamic spectrum sharing in 5G wireless networks with full-duplex technology: Recent advances and research challenges. *IEEE Commun. Surv. Tutorials, 20*(1), 674–707. doi: 10.1109/COMST.2017.2773628.

Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y. ve Xu, L. (2020). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal, 3*(5), 637–646.

Sicari, S., Rizzardi, A., Grieco, L. A. ve Coen-Porisini, A. (2015). Security, privacy, and trust in Internet of Things: The road ahead. *Computer Networks, 76*(1), 146–164. doi: 10.1016/j.comnet.2014.11.008

Siemens. (2023). *Digital twin in manufacturing: A Siemens case study*. Siemens AG.

Siemens. (2023). *Smart factory performance report 2023*. Siemens AG.

Smith, A., Jones, B. ve Williams, C. (2023). Nano-biosensors for personalized healthcare: Real-time monitoring and early diagnostics. *Journal of Biomedical Engineering and Technology, 10*(2), 45-62.

Smith, J., Lee, K. ve Park, S. (2022). The role of 6G in advancing AI-Powered healthcare IoT for real-time patient monitoring. *Journal of Medical Informatics and Telecommunications, 15*(3), 112-128.

Smith, K. ve Johnson, R. (2022). New business models and services enabled by 5G and IoT. *Journal of Business Innovation and Technology, 15*(2), 78-95.

Soldani, D. ve Fantini, R. (2023). *Industrial IoT in 5G-and-beyond networks: Challenges and solutions*. Springer.

Statista. (2023). Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2030.

Şahbaz, A. ve Keçili, M. F. (2025). 2000 yılı sonrası Türk savunma sektörü ve geliştirilen stratejilerin incelenmesi. *Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi*, *6*(11), 62-76.

Şener, N. K. (2015). Dijital medya teknolojilerinin tekno-sosyoloji bağlamında incelenmesi. Yayımlanmamış doktora tezi. İstanbul Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Tarfin. (2023). Akıllı tarım çözümleri. https://www.tarfin.com (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Tariq, F., Khandaker, M. R. A., Wong, K.-K., Imran, M. A., Bennis, M. ve Debbah, M. (2020). A speculative study on 6G. *IEEE Wireless Communications, 27*(4), 118–125. doi: 10.1109/MWC.001.2000043.

TOGG. (2023). *Yerli 5G ile akıllı üretim*. Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu.

TOGG. (2023). *Yerli ve kullanıcı dostu araç arayüzleri*. Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu.

Tse, D. ve Viswanath, P. (2005). *Fundamentals of wireless communication.* Cambridge University Press.

Turkcell. (2023). Yerli 5G baz istasyonları: Ankara ve İstanbul pilot uygulaması. https://www.turkcell.com.tr (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Turkle, S. (2011). *Alone together: Why we expect more from technology and less from each other*. Basic Books.

TÜBİTAK BİLGEM ve ASELSAN Araştırma Ekibi. (2023). *Milli 5G çip tasarımı: Enerji verimliliği ve güvenlik analizi*. TÜBİTAK Yayınları.

Türk Telekom. (2021). 5G ile çevrim içi ameliyat. https://medya.turktelekom.com.tr/5g-ile-cevrim-ici-ameliyat (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). *Dijital teknoloji kullanım istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). *Hanehalkı bilişim teknolojileri kullanım araştırması*. Türkiye İstatistik Kurumu.

UNESCO. (2022a). *Digital culture and youth: A global survey*. UNESCO Publishing.

UNESCO. (2022b). *Digital literacy for all: A global framework*. UNESCO Publishing.

UNESCO. (2022c). *Global education monitoring report: Technology in education*. UNESCO Publishing.

Uusitalo, M. A. ve Strinati, E. C. (2023). Hexa-X: European flagship for 6G vision and enabling technologies. *IEEE Communications Magazine*, *61*(3), 88-94

Uusitalo, M., Tirkkonen, O. ve Ratasuk, R. (2020). Ultra-reliable and low-latency communications (URLLC) for industrial IoT. *IEEE Communications Magazine, 58*(6), 75-81.

Üzmez, S. ve Büyükmeşe, T. (2021). Dijitalleşme sürecinde bilgi yönetiminin işletmelerin teknoloji uyumuna etkileri. *BEYDER, 16*(2), 117-127. doi: 10.54860/Beyder.1028117

Varga, P., Peto, J., Franko, A., Balla, D., Haja, D., Janky, F., Soos, G., Ficzere, D., Maliosz, M. ve Toka, L. (2020). 5G support for industrial IoT applications— challenges, solutions, and research gaps. *Sensors*, *20*(3), 828. doi: 10.3390/s20030828

Wang, C. X., Haider, F., Gao, X., You, X. H., Yang, Y., Yuan, D., … Aggoune, H. E. S. (2014). Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks. *IEEE Communications Magazine, 52*(2), 122–130.

Wang, H., Zhang, L. ve Liu, Y. (2022). Privacy-preserving techniques for AI-Powered IoT data analytics. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 17*, 1855-1870.

Wang, Y., Chen, Z. ve Liu, Y. (2023). Behavioral biometrics for IoT: A survey on keystroke dynamics. *ACM Computing Surveys, 55*(2), 1–35.

Wang, Y., Chen, Z. ve Liu, Y. (2023). Securing healthcare IoT with CNN-based anomaly detection. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 27*(4), 1895–1904.

Wang, Y., Zhang, Q. ve Chen, X. (2023). Terahertz communication for next-generation healthcare IoT: Challenges and opportunities. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 70*(4), 1123-1135.

Warden, P. ve Situnayake, D. (2019). *TinyML: Machine learning with TensorFlow Lite on Arduino and ultra-low-power microcontrollers*. O'Reilly Media.

Witte, B. (t.y.). The basics of 5G's modulation, OFDM. https://www.5gtechnologyworld.com/the-basics-of-5gs-modulation-ofdm/

Wong, M. E. ve Lee, Y. (2021). Wisconsin Assistive Technology Initiative framework for supporting assistive technology decision-making in Singapore schools: perspectives of in-service educators. *Journal of Enabling Technologies, 15*(4), 225-240.

World Bank. (2023). *Digital development fund: Bridging the gap*. World Bank Group.

Xinhua. (2023). China tests 6G prototype in sub-terahertz band. *Xinhua News*. http://www.xinhuanet.com (Erişim Tarihi 25 Şubat 2025).

Yang, P., Tong, W. ve Quek, T. Q. S. (2022). Massive machine-type communications in 5G: Challenges and solutions. *IEEE Internet of Things Journal, 9*(3), 2345-2358

Yang, Q., Liu, Y., Chen, T. ve Tong, Y. (2019). Federated machine learning: Concept and applications. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 10*(2), 1–19.

Yıldırım, D. ve Ozan, E. (2012). Yeniden Gramsci: Hegemonya, Devlet ve Pasif Devrim Sorunu. *Praksis Dergisi, 27.* https://www.praksis.org/tumsayilar/27-sayi-yeniden-gramsci-hegemonya-devlet-ve-yeniden-devrim-sorunu/ (Erişim Tarihi 24 Aralık 2023)

Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22*(2), 546-556. doi: 10.16984/saufenbilder.321957

Yılmaz, A. ve Demir, B. (2023). 6G'nin geleceği: Yeni nesil iletişim hedefleri. *İletişim Teknolojileri Dergisi, 10*(2), 40-55.

You, X., Zhang, J. ve Wang, D. (2021*). 5G ultra-dense networks: Architecture, technologies, and applications*. Springer.

Yu, F. R., Chu, X. ve Hu, R. Q. (2023). *5G verticals: Customizing applications, technologies, and deployment strategies*. Wiley.

Zeadally, S., Muhammad, K. ve Lloret, J. (2022). AI-driven security solutions for 5G-enabled IoT networks. *IEEE Internet of Things Journal, 9*(15), 13245-13260.

Zhang, H., Chen, X. ve Zhu, Y. (2022). 5G network slicing for IoT: Architecture and resource management. *IEEE Internet of Things Journal, 9*(4), 5678-5690.

Zhang, J., Yu, X. ve Letaief, K. B. (2020). Hybrid beamforming for 5G and beyond millimeter-wave systems: A holistic view. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, *1*, 77-91. doi: 10.1109/OJCOMS.2019.2959595.

Zhang, L. ve Li, W. (2024). Ultra-reliable and low-latency communications for industrial IoT in 6G networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 20*(5), 3210-3225.

Zhang, Y., Chen, X. ve Liu, Q. (2023). Decentralized anomaly detection in 6G edge networks using federated learning. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 10*(1), 45–59.

Zhang, Y., Deng, R., Liu, X. ve Zheng, D. (2023). Smart contract-based device authentication in industrial IoT: A blockchain approach. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 20*(2), 987–1001.

Zhang, Y., Li, S. ve Ren, K. (2023). TinyML-based intrusion detection for resource-constrained IoT devices. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 20*(3, 2145–2157.

Zhang, Y., Qiu, M., Tsai, C. W., Hassan, M. M. ve Alamri, A. (2021). Health-CPS: Healthcare cyber-physical system assisted by cloud and big data. *IEEE Systems Journal, 11*(2), 88-95. doi: 10.1109/JSYST.2015.2460747

Zhao, X., Meng, X. ve Kadoch, M. (2024). Enhancing rail network efficiency with advanced 5G connectivity solutions. In International Conference on Information Processing and Network Provisioning (s. 189-200). Singapore: Springer Nature Singapore.

Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. PublicAffairs.

EKLER

Ek 1. Terimler Sözlüğü

5G Çekirdek Ağı (5G Core - 5GC)	**:** 5G ağının kontrol ve veri düzlemini yöneten merkezi bileşen.
6G (6. Nesil Kablosuz İletişim)	**:** Terabit hızları, milisaniye altı gecikme ve AI entegrasyonu sunan gelecek nesil teknoloji.
Ağ Dilimleme (Network Slicing)	**:** Tek fiziksel altyapı üzerinde özelleştirilmiş sanal ağlar oluşturma teknolojisi.
Ağ Toplumu (Manuel Castells)	**:** Teknolojinin toplumsal yapıyı ağ ilişkileriyle dönüştürdüğü teori.
Akıllı Kontratlar	**:** Blockchain tabanlı, şartlar sağlandığında otomatik yürütülen dijital sözleşmeler.
Akıllı Şehirler	**:** Trafik yönetimi ve enerji optimizasyonu için IoT kullanan kentsel sistemler.
Artırılmış Gerçeklik (AR)	**:** Fiziksel dünyaya dijital veri entegrasyonu.
Bağlamsal Bütünlük (Contextual Integrity)	**:** Veri toplamanın sosyal bağlama uygunluğunu savunan mahremiyet teorisi.
Beam-Centric Tasarım	**:** 5G/6G'de sinyal odaklamayı merkeze alan anten optimizasyonu.
Beamforming (Hüzmeleme)	**:** Sinyali belirli yöne odaklayan teknoloji. Analog, Hibrit ve Dijital türleri vardır.
Blockchain	**:** Değiştirilemez ve şeffaf veri kaydı sağlayan dağıtık defter teknolojisi.
Critical IoT	**:** Endüstriyel otomasyon gibi yüksek güvenilirlik gerektiren IoT uygulamaları.
Çoklu Erişimli Uç Bilişim (MEC)	**:** Veri işlemeyi ağ kenarına taşıyarak gecikmeyi azaltan mimari.
Deep-Fake Teknolojileri	**:** Yapay zekâ ile üretilen sahte görsel/işitsel içerikler.

Dijital Detoks : Teknoloji kullanımını sınırlandırma pratiği.

Dijital İkiz (Digital Twin) : Fiziksel sistemlerin sanal kopyalarıyla optimizasyon sağlama.

Dijital Kimlik : Çevrimiçi ortamlarda kişisel verilerle şekillenen sanal kimlik.

Dijital Okuryazarlık Eğitimi : Teknolojiyi güvenli kullanma becerisi kazandıran eğitim.

Dijital Vatandaşlık : Çevrimiçi ortamlarda etik davranış sergileme süreci.

Dinamik Spektrum Paylaşımı (DSS) : 4G/5G'nin aynı frekans bandını paylaşmasını sağlayan teknoloji.

Disiplinler Arası İş Birliği : Farklı bilim alanlarının ortak çalışması.

Edge Cihazları : Veriyi kaynağında işleyen yerel cihazlar.

Endüstriyel IoT (IIoT) : Üretim hatları ve depolama sistemlerinde IoT uygulamaları.

Enformasyonel Kapitalizm : Verinin temel üretim faktörü olduğu ağ tabanlı sistem.

Epistemoloji : Bilginin doğası, kaynağı ve sınırları üzerine felsefi çalışma.

Federated Learning : Veri gizliliğini koruyarak dağıtık cihazlarda model eğitimi.

Futuristic Sanal Gerçeklik : Tamamen dijital evrende yaşam senaryosu.

Gerçek Sanalite : Fiziksel ve dijital dünyaların iç içe geçtiği toplum yapısı.

Gig Ekonomisi : Uber, Deliveroo gibi esnek çalışma modelleri.

Giyilebilir Cihazlar : Sağlık verilerini izleyen taşınabilir teknolojiler.

Global Köy (McLuhan) : Elektronik iletişimin dünyayı küçülttüğü teori.

Gözetim Kapitalizmi : Kullanıcı verilerinin ticarileştirilmesi eleştirisi.

Grant-Free Erişim : IoT cihazlarının izinsiz veri gönderdiği protokol.

Hegemonya : Kültürel/teknolojik araçlarla tahakküm kurma.

Hexa-X : AB'nin 6G araştırma projesi (AI ve THz odaklı).

IEEE : Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü.

IIoT : Endüstriyel Nesnelerin İnterneti.

ITU : Uluslararası Telekomünikasyon Birliği.

İnsan-Makine Etik Çerçevesi : Yapay zekâ ve robotların toplumsal rollerini düzenleyen etik ilkeler.

Kuantum Dirençli Blockchain : Kuantum saldırılarına dayanıklı şifreleme protokolleri.

Kuantum Hesaplama : Geleneksel bilgisayarlardan katlanarak hızlı hesaplama.

Kuantum İletişim : Kuantum anahtar dağıtımı (QKD) ile güvenli veri aktarımı.

Kuantum Şifreleme : Kuantum bilgisayarların kıramayacağı kriptografi.

Küresel Standartlar : Teknolojinin sınır ötesi kullanımını düzenleyen protokoller.

Massive IoT : Milyarlarca düşük enerjili IoT cihazını destekleyen senaryo.

Massive MIMO : Çoklu anten sistemleriyle kapasite ve hız artışı.

Medya Ekolojisi : İletişim araçlarının toplumsal değerleri şekillendirdiği teori.

Metaverse : Sanal ve artırılmış gerçeklikle etkileşimli dijital evren.

mmWave (Milimetre Dalga) : 24-100 GHz arası yüksek frekans bantları.

Mobil Edge Computing (MEC) : Veri işlemeyi ağ kenarına taşıma.

Nano IoT : Mikro sensörlerle çevresel izleme ve sağlık uygulamaları.

NB-IoT : Dar bant IoT iletişim standardı.

Nesnelerin İnterneti (IoT) : Fiziksel nesnelerin sensörlerle veri paylaşımı.

Nesnelerin Sosyalleşmesi : IoT cihazlarının verilen komutlar dışında bağımsız karar alarak uygulaması

New Radio (NR) : 5G'nin fiziksel katman protokolü.

OFDM (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama) : Yüksek spektral verimlilik sağlayan modülasyon tekniği.

Orbital Açısal Momentum (OAM) : Aynı frekansta çoklu veri akışı tekniği.

Popüler Kültür : Teknolojiyle yaygınlaşan kitlesel tüketim kalıpları.

PRISMA Protokolü : Sistematik literatür taramalarında şeffaflık kılavuzu.

Projeksiyon : Gelecekteki teknolojik değişimleri öngörme çalışmaları.

QKD (Quantum Key Distribution) : Kuantum temelli şifreleme yöntemi.

RAN (Radio Access Network) : Kullanıcıları çekirdek ağa bağlayan altyapı.

Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS) : Sinyalleri yeniden yönlendiren akıllı yüzeyler.

Regülasyonlar : Teknolojinin etik ve güvenlik standartlarını belirleyen yasalar.

Regülasyonlar : Teknolojik standartları belirleyen yasal düzenlemeler.

Sanal Gerçeklik (VR) : Dijital ortamlara simülasyon.

Sensörler ve Aktüatörler : Çevresel veri toplayan veya fiziksel eylem gerçekleştiren bileşenler.

Servis Tabanlı Mimari (SBA) : 5G çekirdeğinde mikro hizmet dağıtımı.

Sıfır Güven Mimarisi : Tüm cihazların sürekli doğrulama gerektirdiği güvenlik modeli.

Siber Güvenlik : Dijital sistemlerin yetkisiz erişimden korunması.

Siber Sabotaj	**:**	Kritik altyapılara yönelik siber saldırılar.
Teknopol (Neil Postman)	**:**	Teknolojinin insani değerleri bastırdığı toplum modeli.
Terahertz (THz) Bandı	**:**	100 GHz - 10 THz arası frekanslar (6G için).
Time-Sensitive Networking (TSN)	**:**	Endüstriyel IoT'de zaman kritik iletişim.
URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communication)	**:**	1 ms altı gecikmeli yüksek güvenilirlik servisi.
Veri Ekonomisi	**:**	Büyük veri analitiğine dayalı ekonomik faaliyetler.
Wi-Fi	**:**	Kablosuz yerel ağ iletişim standardı.
Yapay Zeka Destekli IoT	**:**	AI ile entegre çalışan IoT sistemleri.
Yapay Zeka Egemenliği	**:**	Yapay Zeka'nın sosyal ve ekonomik sistemleri yönetmesi.
Yaratıcı Yıkım (Schumpeter)	**:**	Teknolojik yeniliklerin eski sistemleri yıkması süreci.
Zero Trust	**:**	Sürekli doğrulama gerektiren güvenlik yaklaşımı.