T.C.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu

MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDEKİ GELİŞMELER VE BU GELİŞMELERİN YAYINCILIK SEKTÖRÜ ÜZERİNE ETKİLERİ

UZMANLIK TEZİ

Yavuz DOĞAN

ANKARA

HAZİRAN/2021

T.C.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu

MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDEKİ GELİŞMELER VE BU GELİŞMELERİN YAYINCILIK SEKTÖRÜ ÜZERİNE ETKİLERİ

UZMANLIK TEZİ

Yavuz DOĞAN

DANIŞMAN

ÜST KURUL UZMANI Şakir AĞIRBAŞLI

ANKARA

HAZİRAN/2021

RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU BAŞKANLIĞINA

Bu çalışma, Tez Değerlendirme Komisyonu tarafından oy birliği / oyçokluğu ile Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	İmza
Başkan:		
Üye:		
Üye:		
Üye:		
Üye:		

ONAY

…/…/2021

Ebubekir ŞAHİN

Üst Kurul Başkanı

TEZ TESLİM TUTANAĞI VE DOĞRULUK BEYANI

Radyo ve Televizyon Üst Kurulunda görev yapan Üst Kurul Uzman Yardımcısı olarak, Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Tez Hazırlama Yönergesi'ne uygun şekilde hazırlamış olduğum uzmanlık tezi ilişikte sunulmuştur.

Bu uzmanlık tezindeki bütün bilgileri akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplayıp sunduğumu; ayrıca, bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

Bilgilerinizi ve gereğini arz ederim.

… / … / 2021
Yavuz DOĞAN
Üst Kurul Uzman Yardımcısı
Uzmanlık Tezinin Adı: Mobil Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve Bu Gelişmelerin Yayıncılık Sektörü Üzerine Etkileri
EK:
1- Tez (6 Adet)
2- CD (1 Adet)

Tezi Teslim Alan

Daire Başkanı

... / … / 2021

TEŞEKKÜR

"Mobil Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve Bu Gelişmelerin Yayıncılık Sektörü Üzerine Etkileri" isimli bu tezin hazırlanması sürecine ilişkin olarak; Radyo ve Televizyon Üst Kurulunun değerli Başkanı ve Üyelerine, Üst Kurul Başkan Yardımcısı Sayın İbrahim USLU'ya, İzin ve Tahsisler Dairesi Başkanı Sayın Orhan ÖZDEMİR ve Daire Başkan Yardımcısı Sayın Ali SARI'ya, çalışmalarım süresince bilgisi, tecrübesi ve tavsiyeleriyle beni destekleyen İzmir Bölge Temsilciliğinde görevli olan tez danışmanım Üst Kurul Uzmanı Sayın Şakir AĞIRBAŞLI'ya, İzin ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı personellerinden değerli mesai arkadaşlarım Sayın Mahmut Sami KÖKSALDI, Sayın Muhammed Yusuf SARI ile Sayın Oğuzhan AKMAN'a, her daim iyi dilek ve temennilerde bulunan aileme ve bilhassa tez hazırlama sürecinin her aşamasında yanımda olan, desteğini ve hoşgörüsünü hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Rumeysa DOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **II**
İÇİNDEKİLER ..... **III**
KISALTMALAR LİSTESİ ..... **VIII**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **XVI**
GİRİŞ **1**
Tezin Amacı 4
Tezin Önemi 4
Tezin Yöntemi ve Veri Toplama Tekniği 5
Tezin Kapsam ve Sınırlılıkları 5
BİRİNCİ BÖLÜM **6**
HABERLEŞME KAVRAMI VE HABERLEŞME SİSTEMİNİN TEMELLERİ **6**
1.1 HABERLEŞME SİSTEMİNİN TEMEL UNSURLARI 8
1.2 ANALOG SİNYAL – DİJİTAL SİNYAL DÖNÜŞÜMLERİ 9
1.2.1 Analog – Dijital Dönüştürücü (Analog to Digital Converter - ADC) 10
1.2.2 Dijital – Analog Dönüştürücü (Digital to Analog Converter - DAC) 11
1.3 MODÜLASYON 11
1.3.1 Modülasyon Tipleri 12
1.3.1.1 Analog Modülasyon 12
1.3.1.2 Dijital Modülasyon 13
1.4 DEMODÜLASYON 14
1.5 ÇOĞULLAMA (MULTIPLEXING) 15
1.5.1 Uzay Bölmeli Çoğullama (Space Division Multiplexing - SDM) 15
1.5.2 Frekans Bölmeli Çoğullama (Frequency Division Multiplexing - FDM) 17
1.5.3 Zaman Bölmeli Çoğullama (Time Division Multiplexing - TDM) 18
1.5.4 Kod Bölmeli Çoğullama (Code Division Multiplexing - CDM) 20
1.6 VERİ İLETİŞİMİ 21
1.6.1 Frekans Bölmeli Dubleks (FDD) 22

1.6.2 Zaman Bölmeli Dubleks (TDD) 24
1.7 VERİ İLETİM YÖNTEMLERİ 26
1.7.1 Seri İletim 26
1.7.1.1 Senkron İletim 27
1.7.1.2 Asenkron İletim 27
1.7.2 Paralel İletim 27
1.8 SİNYAL YAYILIMI 28
1.9 HABERLEŞME SEKTÖRÜNDE ULUSLARARASI KOORDİNASYON VE STANDARTLAR 29
1.9.1 Uluslararası Telekomünikasyon Birliği 30
1.9.2 Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Avrupa Konferansı 31
1.9.3 Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü 31
1.9.4 Standartlar 32
1.9.4.1 3GPP Standartları 32
1.9.4.2 3GPP2 Standartları 34
İKİNCİ BÖLÜM 36
MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ 36
2.1 MOBİL HABERLEŞME VE TARİHÇESİ 37
2.2 BİRİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (1st GENERATION - 1G) 38
2.3 İKİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (2nd GENERATION - 2G) 39
2.3.1 2.5G (GPRS) Mobil Haberleşme Sistemleri 41
2.3.2 2.75G (EDGE) Mobil Haberleşme Sistemleri 41
2.4 ÜÇÜNCÜ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (3rd GENERATION - 3G) 42
2.4.1 UMTS 43
2.4.2 W-CDMA 44
2.4.3 Yüksek Hızlı Paket İndirme Erişimi (High Speed Downlink Packet Access - HSDPA) 44
2.4.4 Yüksek Hızlı Paket Çıkış Erişimi (High Speed Uplink Packet Access - HSUPA) 45
2.4.5 Gelişmiş Yüksek Hızlı Paket Erişimi (Evolved High Speed Packet Access - HSPA+) 45

2.5 DÖRDÜNCÜ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (4th GENERATION - 4G) 46
2.5.1 4G Tarafından Sağlanan Temel Özellikler 47
2.5.2 4G Mobil Haberleşme Sistemlerinin Temel Teknik Özellikleri 48
2.5.3 4G Şebeke Standartları 49
2.5.3.1 LTE 50
2.5.3.2 Modern LTE (LTE Advanced – LTE-A) 50
2.5.3.3 Ultra Mobil Geniş Bant (Ultra Mobile Broadband – UMB) 58
2.5.4 4G Erişim Teknolojileri 59
2.5.4.1 Dikey Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA) 59
2.5.4.2 Tek Taşıyıcılı FDMA (SC-FDMA) 61
2.6 BEŞİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (5th GENERATION – 5G) 62
2.6.1 4G ile 5G Arasındaki Temel Farklılıklar 64
2.6.2 5G Kullanım Alanları (5G Ekosistemi) 68
2.6.3 5G'yi Hayata Geçirecek Olan Anahtar Teknolojiler 69
2.6.3.1 Ağ Sanallaştırma (SDN – NFV) 70
2.6.3.2 Kapsamlı MIMO (Massive MIMO) Mimarisi 71
2.6.3.3 Hüzmeleme (Beamforming) 73
2.6.3.4 Çok Erişimli Uç Bilişim (MEC) 73
2.6.3.5 Merkezi veya Bulut Radyo Erişim Ağı (C-RAN) 75
2.6.3.6 Ağ Dilimleme Teknolojisi (Network Slicing) 76
2.6.3.7 Küçük Hücre (Small Cell) Uygulaması 77
2.6.3.8 Makineler Arası (M2M) İletişim 78
2.6.3.9 Milimetrik Dalga (mmWave) Kullanımı 79
2.6.4 5G Frekans Spektrumu 79
2.6.5 5G Standardizasyonu 81
2.6.6 5G ile İlgili Popüler Mobil Uygulama Trendleri 83
2.6.6.1 Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality – AR) 83
2.6.6.2 Sanal Gerçeklik (Virtual Reality - VR) 84
2.6.6.3 Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) 86
2.6.7 5G'nin Sunduğu İmkânlar 87
2.6.7.1 Otomotiv ve Ulaşım 88

2.6.7.2 Sağlık 90
2.6.7.3 Üretim 93
2.6.7.4 Enerji 95
2.6.7.5 Medya ve Eğlence 96
2.6.8 5G ve Olası Zorluklar 98
2.6.9 5G ve Güvenlik 99
2.6.10 Türkiye'de ve Dünyada 5G Çalışmaları 101
2.6.10.1 Türkiye 102
2.6.10.2 Çin Halk Cumhuriyeti 104
2.6.10.3 Amerika Birleşik Devletleri 105
2.6.10.4 Güney Kore 105
2.6.10.5 Birleşik Krallık 106
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM 107
MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDEKİ GELİŞMELERİN YAYINCILIK SEKTÖRÜ ÜZERİNE ETKİLERİ 107
3.1 YAYINCILIK SEKTÖRÜ 107
3.2 GENİŞ BANT HİZMETLERİ 109
3.2.1 Dijital Abone Hattı (DSL) 110
3.2.2 Kablo Modem 110
3.2.3 Fiber 111
3.2.4 Güç Hatları üzerinden Geniş Bant (BPL) 111
3.2.5 Uydu Geniş Bant 112
3.2.6 Kablosuz - Mobil Geniş Bant 112
3.3 MOBİL GENİŞ BANT VE YAYINCILIK SEKTÖRÜ 116
3.3.1 IPTV 117
3.3.2 İnternet TV (Web TV) 119
3.3.3 OTT 121
3.4 AKTİF İZLEYİCİLİK, İZLEME ALIŞKANLIKLARI VE OTT EĞİLİMLERİ 125
3.5 DÜNYA ÇAPINDA SVoD KULLANIMI 130
3.5.1 Türkiye 130
3.5.2 Amerika Birleşik Devletleri 133
3.5.3 Çin Halk Cumhuriyeti 135

3.5.4 Avrupa 135
3.6 MOBİL YAYINCILIK 137
3.6.1 DVB-H (Digital Video Broadcasting – Handheld) 137
3.6.2 DVB T2-Lite 141
3.6.3 LTE Üzerinden Yayıncılık (LTE Broadcasting – LTE-B) 142
3.6.4 5G ve Yayıncılık 147
3.6.4.1 FeMBMS 150
3.6.5 5G Mobil Şebekesi Üzerinde Yapılan Canlı Yayın Denemeleri 155
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 158
Öneriler 165
KAYNAKÇA 168
ÖZET 176
ABSTRACT 178
ÖZGEÇMİŞ 179

KISALTMALAR LİSTESİ

1G	1st Generation
2G	2nd Generation
3D	3 Dimensional
3G	3rd Generation
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
4G	4th Generation
5G	5th Generation
A.g.e.	Adı Geçen Eser
A.g.k.	Adı Geçen Kaynak
A.g.t.	Adı Geçen Tez
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADC	Analog to Digital Converter
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AI	Artificial Intelligence
AM	Amplitude Modulation
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AR	Augmented Reality
Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
ARIB	The Association of Radio Industries and Businesses
ASK	Amplitude Shift Keying
ATIS	The Alliance for Telecommunications Industry Solutions

ATSC	Advanced Television Systems Committee
AVoD	Advertising based Video on Demand
BBC	British Broadcasting Corporation
BBU	Base Band Unit
BEREC	Body of European Regulators for Electronic Communications
BMSC	Broadcast Multicast Service Center
BPL	Broadband over Powerlines
bps	bits per second
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CA	Carrier Aggregation
CCSA	China Communicaitons Standarts Association
CDM	Code Division Multiplexing
CDMA	Code Division Multiple Access
CDN	Content Delivery Network
CEO	Chief Exective Officer
CEPT	The European Conference of Postal and Telecommunicaitons Administrations
CoMP	Coordinated Multi Point
C-RAN	Cloud/ centralized Radio Access Network
DAB	Digital Audio Broadcasting
DAC	Digital to Analog Converter
DASH	Dynamic Adaptive Streaming over http
DL	Downlink
DMB	Digital Multimedia Broadcast
DPSK	Differential Phase Shift Keying
DS-CDMA	Direct Sequence Code Division Multiple Access

DSL	Digital Subscriber Line
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-H	Digital Video Broadcasting-Handheld
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
eMBB	enhanced Mobile Broadband
eMBMS	evolved Multimedia Broadcast Multicast Service
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	European Telecommunicaitons Standarts Institute
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEF	Future Extension Frames
FeMBMS	Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service
FM	Frequency Modulation
FSK	Frequency Shift Keying
FTA	Free to Air
Gbit	Gigabit
GHz	Gigahertz
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communicaiton

GSMA	GSM Association
HARQ	Hybrid Automatic Request
HD	High Definition
HEVC	High Efficiency Video Coding
HLS	http Live Streaming
HMD	Head Mounted Display
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA+	Evolved High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HTHP	High Tower High Power
http	hyper text transfer protocol
Hz	Hertz
IBM	International Business Machines
ICT	Information and Communicaitons Technology
IDC	International Data Corporation
IMT-2000	International Mobile Telecommunicaitons-2000
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting
ITU	International Telecommunication Union
ITU-D	The Telecommunicaiton Development Sector
ITU-R	The Radiocommunication Sector
ITU-T	The Telecommunicaiton Standardization Sector
JTACS	Japan Total Access Communications System
kbit	kilobit

KPMG	Klynveld Peat Marwick Goerdeler
LAN	Local Access Network
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	LTE-Advanced
LTE-B	Long Term Evolution Broadcasting
M2M	Machine to Machine
Mbit	Megabit
MBMS-GW	Multimedia Broadcast Multicast Service Gateway
MCE	Multicast Coordination Entity
MEC	Multi-access Edge Computing
MHz	Megahertz
MIIT	Ministry of Industry and Information Technology
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entitiy
MMS	Multimedia Messaging Service
mMTC	massive Machine Type Communications
MPE-FEC	(Multi-Protocol Encapsulation – Forward Error Correction)
ms	milisaniye
MU-MIMO	Multiple User MIMO
NFV	Network Function Virtualisation
NIC	National Infrastructure Commission
NMT	Nordic Mobile Telephone
NTT	Nippon Telegraph and Telephone Corporation
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OFCOM	Office of Communications
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OOK	On-Off Keying
OTT	Over the Top
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PC	Personal Computer
PDA	Personal Digital Assistant
PDC	Personal Digital Cellular
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RF	Radio Frequency
RN	Relay Nodes
RNC	Radio Network Controller
RRU	Remote Radio Unit
RTÜK	Radyo ve Televizyon Üst Kurulu
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SD	Standart Definition
SDM	Space Division Multiplexing
SDN	Software Defined Network
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line
SFN	Single Frequency Network
SMS	Short Message Service
sn	saniye
SSTEK	Savunma Sanayi Teknolojileri
SVoD	Subscription Video on Demand

TACS	Total Access Communication System
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TIA	Telecommunications Industry Association
TRT	Türkiye Radyo Televizyon Kurumu
TSDSI	Telecommunications Standarts Development Society
TSGs	Technical Specification Grups
TTA	Telecommunications Technology Association
TTC	Telecommunication Technology Committee
TV	Television
TVoD	Transactional Video on Demand
UHD	Ultra High Definition
UHF	Ultra High Frequency
UL	Uplink
UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Service
uRLCC	ultra Reliable and Low Latency Communications
USB	Universal Serial Bus
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Everything
VHF	Very High Frequency
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network

VR	Virtual Reality
WAP	Wireless Application Protocol
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WHO	World Health Organization
WRC	World Radiocommunication Conference
WWAN	Wireless Wide Area Network

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Analog ve dijital sinyallerin grafiksel gösterimi 7
Şekil 1.2 Haberleşme sisteminin temel ekipmanları 8
Şekil 1.3 Kuvvetlendirici kullanılan bir radyo haberleşme sistemi 9
Şekil 1.4 Analog bir sinyalin dijitale dönüştürülmesinde örnekleme evresi 10
Şekil 1.5 Analog sinyalin ADC ve DAC vasıtasıyla dönüşüm işlemi 11
Şekil 1.6 Modülasyon ve Demodülasyon işlemleri 15
Şekil 1.7 Uzay Bölmeli Çoğullama (SDM) 16
Şekil 1.8 Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM) 17
Şekil 1.9 Zaman Bölmeli Çoğullama (TDM) 18
Şekil 1.10 Frekans ve Zaman Bölmeli Çoğullamanın birleşik yapısı 19
Şekil 1.11 Kod Bölmeli Çoğullama (CDM) 20
Şekil 1.12 Veri iletişimi ve çeşitleri 22
Şekil 1.13 Frekans Bölmeli Dubleks (FDD) 23
Şekil 1.14 Zaman Bölmeli Dubleks (TDD) 24
Şekil 1.15 Seri iletim 26
Şekil 1.16 Paralel iletim 28
Şekil 1.17 Sinyaller için iletim, algılama ve enterferans aralıkları 29
Şekil 1.18 3GPP organizasyonunda yer alan ortaklar 32
Şekil 2.1 Birinci nesil haberleşmede kullanılmış olan mobil cihaz örneği 39
Şekil 2.2 İkinci nesil haberleşmede kullanılmış olan mobil cihaz örneği 40
Şekil 2.3 Üçüncü nesil haberleşme teknolojisine uyumlu olarak üretilmiş mobil cihaz örneği 42
Şekil 2.4 HSPA sürümleri ve teknik özellikleri 46
Şekil 2.5 3G'de kullanılan UMTS teknolojisinden 4G'de kullanılan LTE'ye dönüşüm 50
Şekil 2.6 Dördüncü nesil haberleşme teknolojisinde LTE-A (4.5G) uyumlu mobil cihaz örneği 51
Şekil 2.7 LTE teknolojisinde taşıyıcı birleştirme teknikleri 53
Şekil 2.8 4x4 MIMO mimarisi 54

Şekil 2.9 Birden fazla antenle MIMO teknolojisini kullanan tipik modern Wi-Fi yönlendirici (router) 55
Şekil 2.10 Koordineli Çoklu Nokta (CoMP) Operasyon senaryoları 56
Şekil 2.11 DeNB – RN arasındaki örnek bir bağlantı yapısı 58
Şekil 2.12 OFDM ve OFDMA yapıları 60
Şekil 2.13 OFDM ve SC-FDMA yapıları 62
Şekil 2.14 SAMSUNG firması tarafından üretilen 5G uyumlu mobil cihaz 63
Şekil 2.15 Mobil haberleşme teknolojilerinin dönüşüm evreleri 64
Şekil 2.16 4G'ye kıyasla 5G'nin sunduğu performans iyileştirmeleri 67
Şekil 2.17 ITU'ya göre 5G ekosistemi 69
Şekil 2.18 Mevcut anten ve kapsamlı MIMO arasındaki kapsama alanı karşılaştırması 73
Şekil 2.19 MEC mimarisi 74
Şekil 2.20 Ağ dilimleme teknolojisi 76
Şekil 2.21 5G küçük hücre uygulaması 77
Şekil 2.22 3GPP standartlarına göre 5G zaman çizelgesi 82
Şekil 2.23 Günlük yaşamda geniş bir hizmet yelpazesine sahip olacak AR teknolojisi . 84
Şekil 2.24 Oculus tarafından kullanıma sunulan VR destekli aygıt 85
Şekil 2.25 Çin'de 5G teknolojisiyle gerçekleştirilen ilk uzaktan ameliyat 92
Şekil 2.26 5G'de lider ülkeler 102
Şekil 3.1 Cisco'ya göre dünya genelinde internet kullanıcı sayısının yıllık dağılımı ... 113
Şekil 3.2 Cisco'ya göre dünya genelinde mobil cihaz sayısının yıllık dağılımı 114
Şekil 3.3 Cisco'ya göre dünya genelinde mobil abone sayısının yıllık dağılımı 115
Şekil 3.4 Statisca'ya göre dünya genelinde internet ve mobil internet aktif kullanıcı sayısı 116
Şekil 3.5 IPTV'nin çalışma prensibi 118
Şekil 3.6 Türk Telekom'un Tivibu IPTV hizmetine ait set üstü kutu 118
Şekil 3.7 İnternet TV yayıncılığı örneği (TRT1 - https://www.trtizle.com/canli/tv/trt-1) 120
Şekil 3.8 OTT iletim şeması 122
Şekil 3.9 Deloitte tarafından yapılan izleyici anketi sonuçları 125
Şekil 3.10 2017'den 2025'e kadar dünya çapında OTT video kullanıcılarının sayısı.... 127
Şekil 3.11 En az bir ücretli video akışı aboneliğine sahip kullanıcı yüzdeleri 128
Şekil 3.12 KPMG tarafından Türkiye'ye yönelik yapılan anketin sonuçları 132
Şekil 3.13 Twentify tarafından yapılan memnuniyet anketi 132

Şekil 3.14 Twentify tarafından yapılan ankete göre potansiyel müşteri değişim grafiği 133
Şekil 3.15 ABD'de SVoD kullanıcılarının yıllık yüzdeleri..... 134
Şekil 3.16 2020 yılında ABD'de SVoD kullanıcılarının platformlara göre dağılımı.... 134
Şekil 3.17 2020 yılında ABD'de SVoD kullanıcılarının platformlara göre dağılımı.... 135
Şekil 3.18 Avrupa Birliği ülkelerinde hizmet veren popüler SVoD platformları 136
Şekil 3.19 Avrupa Birliği ülkelerinde SVoD ve Pay TV abone sayılarındaki değişim 137
Şekil 3.20 LTE-B ve LTE-tek noktaya yayın(Unicast)..... 143
Şekil 3.21 eMBMS ağ mimarisi..... 145
Şekil 3.22 Yayıncılık değer zincirinde 5G'nin etkileyeceği düşünülen önemli noktalar 149
Şekil 3.23 5G Yayını..... 153
Şekil 3.24 5G yayınına ilişkin ORS teknik ekibinin devam eden saha çalışmaları 155

GİRİŞ

Haberleşme, bir bilginin bir yerden başka bir yere aktarılmasıdır. Yayıncılık ise en genel tanımıyla, görsel ve işitsel içeriklerin kitlelere birtakım iletim teknikleri vasıtasıyla ulaştırılması olarak ifade edilebilir. Bu açıdan bakıldığında yayıncılığın, bir çeşit haberleşme türü olduğu değerlerlendirilmesine varılmaktadır. Geçmişten günümüze yayıncılık faaliyetleri, gelişen teknolojiler çerçevesinde sürekli bir değişim ve dönüşüm içerisinde olmuştur. Başlangıçta karasal ortamdan analog sistemler kullanılarak iletilen yayınlar, teknolojinin ilerlemesiyle sayısallaştırılmış ve sayısal karasal yayınlar dünya genelinde yaygınlaşmaya başlamıştır.

Sayısal karasal yayınların yanı sıra, bu gelişim sürecinde uydu sistemleri ortaya çıkmış ve içeriklerin uydu sistemleri üzerinden kitlelere aktarılması mümkün kılınmıştır. Bununla beraber, kablo altyapısı üzerinden yayın iletimini destekleyen kablolu TV yapısı geliştirilmiştir. Yayın faaliyetlerinin çoğunlukla bu üç sistem üzerinden gerçekleşmesi nedeniyle karasal ortam ile uydu ve kablo ortamlarından yapılan içerik iletimleri, geleneksel yayın faaliyetleri olarak nitelendirilmektedir.

Temelleri 1950'li yıllarda atılmaya başlanan İnternet teknolojilerinin ilerleyen dönemlerde geliştirilmesiyle, 21. yüzyılın başlarından itibaren yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Birçok endüstriyel alanda görülen ilerlemeler ile beraber internet teknolojisinin bu alanlara entegre olması hızlanmıştır. İnternetin etkisi altında kalan alanlardan bir tanesi de yayıncılık sektörüdür. Sayısal yayıncılık tekniklerinin gelişmesinin yanı sıra hem internet teknolojileri hem de mobil haberleşme sistemlerindeki gelişmeler ışığında; yayıncılık, internet ve mobil haberleşme sistemleri arasındaki sınırlar ortadan kalkmaya başlamıştır. Bunun sonucunda, bu üç sistemin birbirine yakınlaşması olarak ifade edilen "yakınsama" kavramı ortaya çıkmıştır. Bu yakınsamanın etkisiyle, internet teknolojisi yayıncılık

alanına nüfuz etmiş ve belirli bir standarda bağlı olmaksızın içeriklerin geniş bant üzerinden aktarımı mümkün hale gelmiştir.

Geniş bant ve mobil geniş bant sistemlerindeki teknik özelliklerin geliştirilmesi, internet kullanımındaki artışlar, mobil cihazların yoğun kullanımı ile mobil veri tüketiminin artması gibi nedenlerden dolayı internet üzerinden yayın faaliyetleri hızlı bir ilerleme göstermiştir. Üretilen içeriklerin geniş bant üzerinden aktarılabilmesinin akabinde; IPTV, OTT TV, İnternet TV gibi birtakım yeni teknolojiler ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu teknolojilerle beraber içeriklerin geniş bir yelpazede kullanıcılara sunulduğu, etkileşimin daha fazla yer aldığı, belirli bir yayın akışından bağımsız olan, içeriklere istenilen her yerde ve her zaman erişilebildiği bir yayın ortamı oluşmaya başlamıştır.

Yayıncılığın dijitalleşmesi ve içeriklerin sunumu noktasında yeni bir yayın ortamı olarak internetin kullanılmasında, 1G'den başlayıp 5G'ye uzanan mobil haberleşme sistemlerindeki gelişmelerin önemi büyüktür. Bu gelişim serüveni; yalnızca ses iletimi için analog sistemlerle tasarlanmış olan 1G ile başlamış, daha kaliteli ses deneyimi ve SMS iletimi için dijital sistemlerle tasarlanmış olan 2G sistemleri ile devam etmiş, ardından gelişmiş video ve ses akışının desteklendiği 3G teknolojisiyle ilerlemesini sürdürmüştür. İlerlemeye devam eden mobil sistemlerde, günümüzde dünya çapında yoğun bir şekilde kullanılan 4G teknolojilerine geçilmiş, devamında ise LTE ve LTE-A sürümleriyle geliştirme sürecine devam edilmiştir. LTE-A sürümünde, uçtan uca internet protokolü üzerinden yüksek ses ve video akışının desteklenmesiyle mobil şebekeler üzerinden yayın içeriklerinin aktarılması kolaylaşmıştır. Mobil haberleşme sistemlerinin bir sonraki standardı olan 5G'nin ultra yüksek veri hızı, oldukça düşük gecikme süresi, yüksek ağ kapasitesi ve buna benzer birçok avantajıyla; medya, sağlık, ulaşım ve enerji gibi alanlarda teknolojik ilerlemeler sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu kapsamda üç bölümden oluşan bu tez çalışmasının birinci bölümünde, haberleşme sistemlerinin temel etmenleri, analog ve dijital sistemlerin farklılıkları, veri iletim yöntemleri ve erişim teknikleri detaylarıyla anlatılmıştır. Ayrıca haberleşme sektöründe uluslararası koordinasyonu sağlamak amacıyla oluşturulmuş organizasyonlar ve kuruluşlar ile bu kuruluşlarca belirlenen standartlar aktarılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde, öncelikle mobil haberleşme sektöründe yaşanan gelişmelerin sebepleri ile mobil haberleşmenin gelişim süreci ele alınmıştır. Sonrasında, 1G'den 5G'ye uzanan mobil haberleşme teknolojileri kronolojik ve sistematik olarak incelenmiş, kullanıldıkları dönemlerde sahip oldukları önem çerçevesinde değerlendirilmiştir. Ek olarak, birçok sektör için önem arz eden LTE-A ve 5G sistemleri üzerinde yoğunlaşılmış ve bu sistemlere ilişkin teknik altyapı görsellerle desteklenerek ifade edilmiştir. Bununla beraber, günümüzde kullanılmakta olan LTE-A ile geleceğin teknolojisi olarak değerlendirilen 5G arasındaki temel farklılıklar ortaya koyulmuştur. Ayrıca; 5G'nin ekosistemi ve popüler uygulamaları, bu teknolojiyle sunulacak imkanlar, 5G'de kullanılacak olan frekans spektrumu ve olası zorluklar hakkında bilgi verilerek ülkeler nezdinde yapılan 5G çalışmaları incelenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde, yayıncılık ve geleneksel yayıncılık faaliyetleri hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Ardından geniş bant hizmetleri ile yüksek hızlı aktarım teknolojileri tanıtılarak bu teknolojilerin yayıncılık ile ilişkisi ortaya konmuştur. Yapılan önemli araştırmalardan yararlanılarak internet ve mobil cihaz kullanımı ile mobil veri tüketimindeki artışlara dikkat çekilerek, internet ve mobil şebekeler üzerinden yayın akışını mümkün kılan teknolojiler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. IPTV, İnternet TV ve OTT teknolojilerinin çalışma prensipleri aktarılarak örneklerle desteklenmiştir. Bu teknolojiler içerisinde özellikle OTT video servisleri üzerinde durulmuş ve bu servisler dağıtım biçimleri açısından çeşitleri ile beraber ele alınmıştır. Abonelik tabanlı isteğe bağlı video (SVoD) hizmetleri çerçevesinde, Türkiye'de ve dünyadaki izleyici alışkanlıkları ve eğilimleri, yapılan

istatistikler kapsamında değerlendirilmiştir. Son olarak, 4G ve 5G şebekeleri üzerinden çoklu noktaya yayın özelliğini (multicast) destekleyen eMBMS ve FeMBMS standartları incelenmiştir.

Sonuç ve değerlendirme bölümünde, mobil haberleşme sistemlerindeki gelişim aşamaları ele alınmış ve yayıncılık sektörü üzerine etkilerine değinilmiştir. Mobil şebekeler üzerinden içerik iletimi sağlayan hizmetler ve mobil yayıncılık hususlarında birtakım tavsiyelerde bulunulmuştur.

Tezin Amacı

Bu tezin temel amacı, mobil haberleşme sistemlerindeki gelişmeleri teknik detaylarıyla ele almak ve bu gelişmeler kapsamında yayıncılık sektörünün nasıl bir dönüşüm içerisinde olacağını incelemektir. Bunun yanı sıra, söz konusu gelişmelerin yayıncılık alanında; içerik üretimi, dağıtımı ve tüketimi aşamalarını ne şekilde etkileyeceğini ele almaktır. Ayrıca, 5G sistemlerinin yayıncılığın da içinde bulunduğu birçok alanda yapacağı öngörülen değişiklikleri ortaya koymaktır.

Tezin Önemi

Küresel boyutta kademeli olarak kullanılmaya ve yaygınlaşmaya başlayan 5G teknolojisi ile ilgili teknik detayları içinde barındıran bu tez çalışmasında, mobil sistemlerin genel kapsamda yayın faaliyetlerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yayıncılık ve telekomünikasyon sektöründeki en güncel teknolojilerin ve öngörülerin ele alındığı bu çalışma, sektörde yaşanacağı düşünülen değişiklikler adına büyük önem arz etmektedir.

Tezin Yöntemi ve Veri Toplama Tekniği

Bu çalışmada "Kaynak Tarama Yöntemi" kullanılarak mobil haberleşme sistemleri ve yayıncılık alanlarında kaleme alınmış kitap, makale, tez, dergi, teknik rapor ve haber platformlarından çeşitli bilgilere ulaşılmış, toplanan veriler üzerinde analiz ve yorumlama yapılarak çeşitli değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bununla beraber;

- ITU, ETSI, BEREC ve OECD gibi uluslararası koordinasyon kuruluşlarının,
- Qualcomm, Intel, IBM, Oracle ve Ericsson gibi teknoloji şirketlerinin
- BTK ve FCC gibi düzenleyici devlet kurumlarının

bünyesinde hazırlanan uluslararası raporlar ve global ölçekte yapılan araştırmalar kullanılarak tezin akışına yön verilmiştir. Ayrıca; Statista, Deloitte, Nevron, Cisco ve ReportLinker gibi araştırma şirketlerince yapılan güncel anketlere erişim sağlanmış ve bu anketlerde yer alan sayısal veriler teze aktarılmıştır.

Tezin Kapsam ve Sınırlılıkları

Bu çalışmada iki temel konu üzerinde durulmuştur. Bunlar, yayıncılık ve mobil haberleşme sistemleridir. Mobil haberleşme sistemlerinin gelişim süreci 1899 yılında Marconi tarafından radyo dalgaları kullanılarak gerçekleştirilen radyo telgraf aktarımından günümüze kadar geçen uzun bir süreyi kapsamaktadır. Bundan dolayı, mobil haberleşme sistemlerini iyi idrak edebilmek amacıyla haberleşme sistemlerinin temellerine de yer verilmiştir. Ayrıca tez konusunun mobil haberleşme sistemleri olması hasebiyle, sabit internet sistemlerine ağırlıklı olarak yer verilmemiştir. Buna ek olarak, yayıncılık konusu da mobil haberleşme sistemleriyle ilişkilendirildiği için RTÜK'ün görev ve yetki alanında yer alan internet üzerinden yayıncılık konusuna ağırlık verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

HABERLEŞME KAVRAMI VE HABERLEŞME SİSTEMİNİN TEMELLERİ

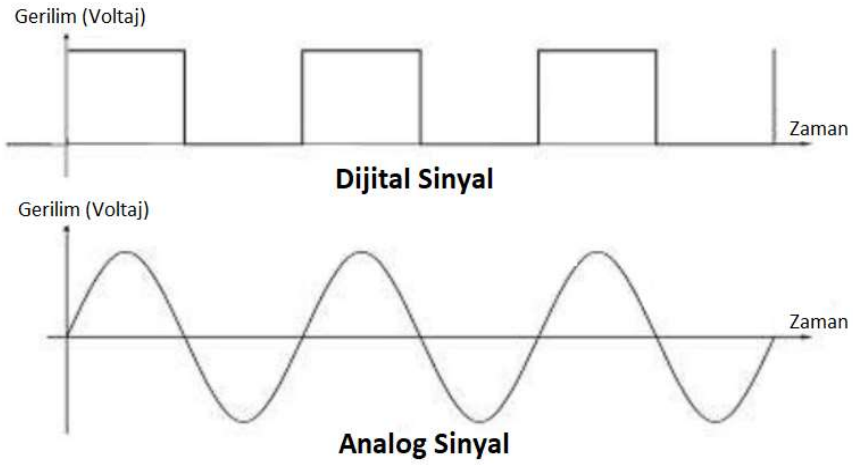
Haberleşme kavramı paylaşmak anlamına gelen Latince kökenli *communicare* sözcüğünden türemiştir.[1] En temel hâliyle haberleşme; fikirlerin, kavramların, hayallerin, davranışların ve yazılı içeriğin, kısaca bilginin bir yerden başka bir yere aktarılması olarak tanımlanır.

Teknik olarak haberleşme ise; bilgi taşıyan sinyallerin bir noktadan başka bir noktaya güvenli bir biçimde, yüksek verim ve kalitede iletilmesi işlemine denir.[2] Sinyal, verilerin fiziksel olarak temsil edilen halidir. Haberleşmede "bilgi" olarak adlandırılan sinyaller elektrik enerjisine dönüştürülerek uzak mesafelere gönderilir. Gönderilen bu sinyaller, analog ve dijital (sayısal) sinyaller olmak üzere iki gruba ayrılır. Analog sinyaller, maksimum ve minimum büyüklük arasında sonsuz sayıda değer alabilen ve zamana göre süreklilik arz eden sinyallerdir. Örneğin, bir amfiden çıkıp hoparlöre giden elektriksel ses sinyali, analog sinyal formundadır. Dijital sinyaller ise; sürekli olarak belli bir değer almayan, ayrık (discrete) zamanlı sinyallerdir. En bilinen dijital sinyal örneği, bilgisayar işletim sisteminde kullanılan sıfır (0) ve birlerin (1) oluşturduğu ikili kod (binary-code) yapısıdır. Bu yapıda sıfır sinyalin olmadığını, bir ise sinyalin var olduğunu gösterir.[3]

[1] "What is Communication?", https://open.lib.umn.edu/businesscommunication/chapter/1-2-what-is-communication/ (17.11.2020)
[2] "Veri Haberleşmesi ve Bilgisayar Ağları Haberleşmenin Temel Kavramları", http://ckk.com.tr/ders/Haberlesme/01%20Haberle%C5%9Fme%20Temel%20Kavramlar.html (20.11.2020)
[3] "Dijital Elektronik Ders Notları", https://abs.mehmetakif.edu.tr/upload/0124_1408_dosya.pdf (24.11.2020)

Analog ve dijital sistemlerin farklılıkları şu şekilde sıralanabilir:

- Analog sinyaller sinüs dalga formunda iken, dijital sinyaller kare dalga formundadır.
- Analog sinyaller iletim esnasında gürültü sebebiyle kolayca bozulmaya açıkken, dijital sinyaller gürültüden etkilenmeden ve minimum seviyede bozulma ile iletilme özelliğine sahiptir.
- Analog sinyaller video ve ses iletimi için kullanılan cihazlara uyumluyken, dijital sinyaller programlama, elektronik ve haberleşme sistemlerinde daha çok kullanılmaktadır.
- Harcanan güç noktasında dijital sistemler analog sistemlere nazaran oldukça az güce ihtiyaç duyar.
- Analog teknoloji dalga formlarını olduğu gibi kaydederken, dijital teknoloji analog sinyallerin üzerinde sınırlı sayıda örnekleme yapılarak elde edilmiş halidir.[4]

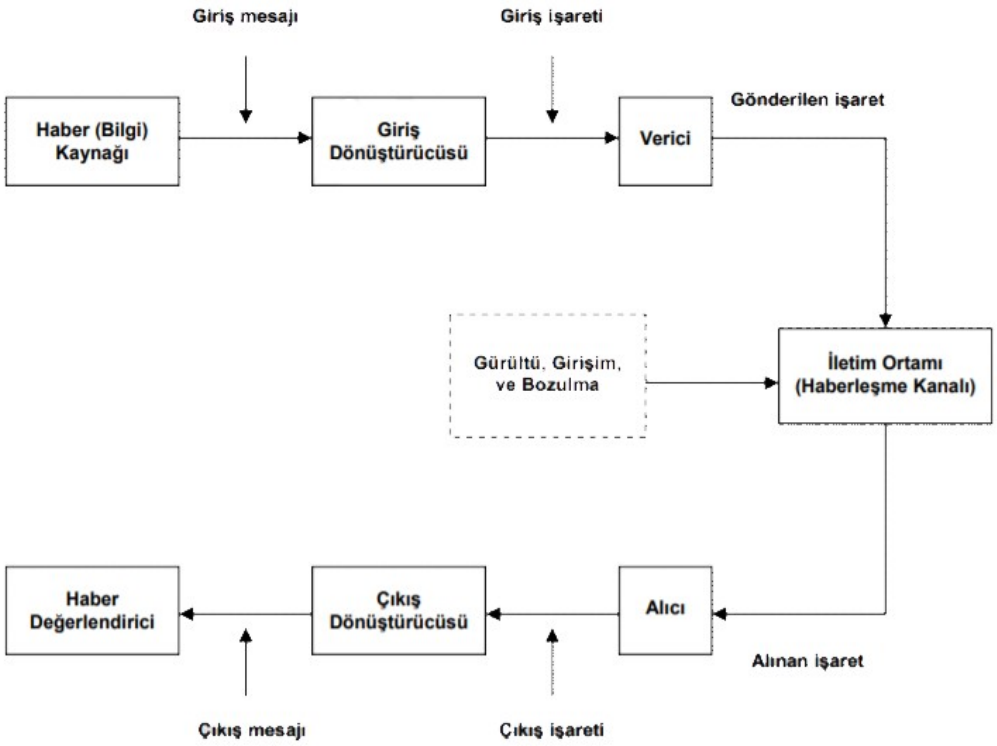


Şekil 1.1 Analog ve dijital sinyallerin grafiksel gösterimi[5]

[4]"Analog versus Digital comparison chart", https://www.ccri.edu/faculty_staff/engt/jbernardini/JB-Website/ENGR1020/1020-016-Fall/10-Analog-Digital-Compare.pdf (23.11.2020)
[5]"Arduino Dijital ve Analog Kavramı", https://www.ahmetkemalyildiz.com.tr/4-arduino-dijital-ve-analog-kavrami/ (26.11.2020)

1.1 HABERLEŞME SİSTEMİNİN TEMEL UNSURLARI

Haberleşmedeki temel amaç çeşitli formatlardaki bir bilginin uzay ve zaman içinde kaynak adı verilen bir noktadan kullanıcı olarak isimlendirilen diğer bir noktaya iletilmesidir.[6] Haberleşme sistemi ise bu iletimin gerçekleşmesini sağlayan bir dizi ekipman ve bir ortamdan oluşmaktadır. En genel haliyle bir haberleşme sistemi Şekil 1.2'de yer alan blok şema ile temsil edilebilir.



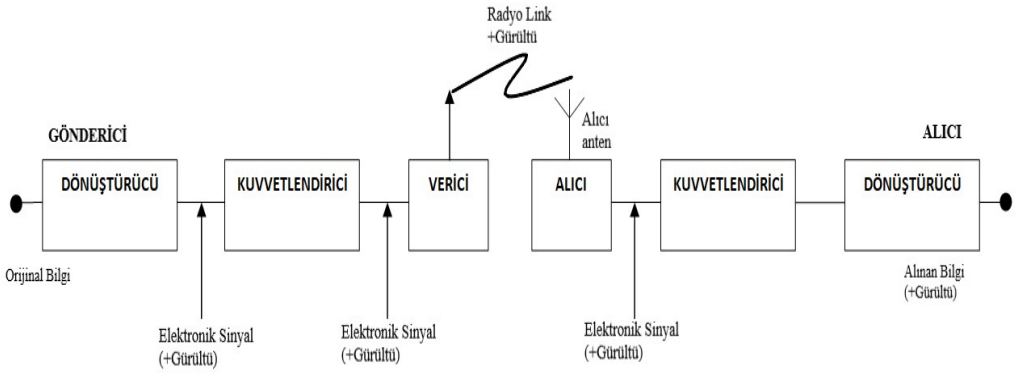
Şekil 1.2 Haberleşme sisteminin temel ekipmanları[7]

Herhangi bir haberleşme sisteminde; verici, haberleşme kanalı ve alıcı olmak üzere 3 temel unsur bulunmaktadır. Öncelikle kaynaktan çıkan bilgi sinyali, elektronik bilgi sinyalini elde etmek amacıyla elektriksel forma dönüştürülür. Bu işlem dönüştürücü vasıtasıyla gerçekleştirilir. Dönüştürücü, bilgi sinyalinin iletime uygun hale getirilmesini sağlar. Vericinin görevi, haberleşme kanalının özelliklerine

[6]Aydın Kızılkaya, "EEM 318 Haberleşme Teorisi", Pamukkale Üniversitesi, 2008, s.2-4, http://akizilkaya.pamukkale.edu.tr/B%C3%B6l%C3%BCm1_haberlesme.pdf (27.11.2020)
[7]A.g.k.

göre uygun bir sinyal üretmek için giriş sinyalini işlemek ve iletim için uygun hale getirmektir. Giriş sinyalinin iletime uygun hâle getirilmesi modülasyon ile sağlanır. Haberleşme kanalı, bilginin vericiden alıcıya iletilmesi için kullanılan ortamdır. Bu ortam koaksiyel veya fiber optik kablolar olabileceği gibi, radyo haberleşmesinde iletim ortamı olarak kullanılan atmosfer de olabilir. Alıcı ise, giriş sinyalinin tekrar elde edilebilmesi için kod çözme ve demodülasyon süreçlerinin gerçekleştiği bölümdür. Ardından bir dönüştürücü vasıtasıyla gönderilen orijinal bilgi elde edilir.[8]

Haberleşme sistemlerinde dönüştürücü dışında birtakım ekipmanlara da ihtiyaç duyulabilir. Örneğin; gönderilen elektronik sinyalin şiddetini belirli seviyelere çıkarmak amacıyla sistemin uygun noktalarında kuvvetlendiriciler kullanılabilir. Kuvvetlendirici kullanılan bir radyo haberleşme sistemi Şekil 1.3'te belirtilmiştir.



Şekil 1.3 Kuvvetlendirici kullanılan bir radyo haberleşme sistemi [9]

1.2 ANALOG SİNYAL – DİJİTAL SİNYAL DÖNÜŞÜMLERİ

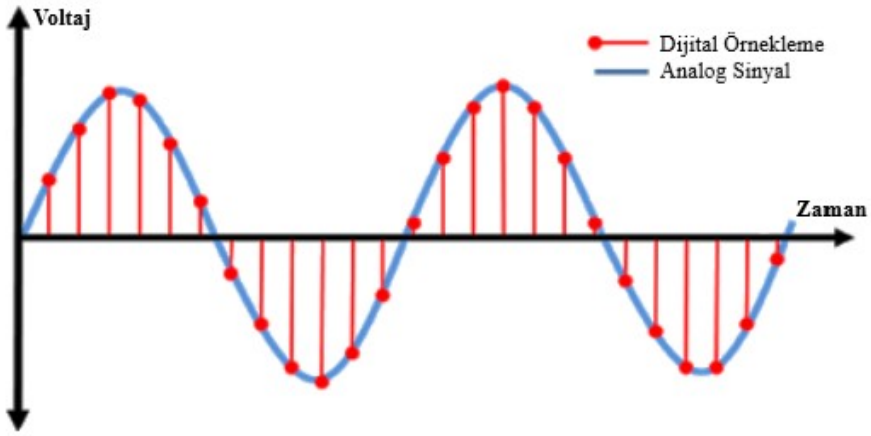
Bilindiği üzere dijital sistemler mantık değerleri ile çalışmaktadır. 0 ve 1'lerden oluşan bu ikili kod sistemi analog sistemler için bir anlam ifade etmez. Bununla birlikte basınç, ağırlık, ısı ve sıcaklık gibi birçok büyüklük analog değerler

[8]Cebrail Taşkın,*Ağ Teknolojileri ve Telekomünikasyon,*Pusula Yay.,İstanbul, 2018, s.2-3.
[9]A.g.e., s.3.

almaktadır. Bu büyüklüklerin bilgi işleyen cihazlarca çeşitli işlemlere tabi tutulabilmeleri için dijital değerlere dönüştürülmesi şarttır.

1.2.1 Analog – Dijital Dönüştürücü (Analog to Digital Converter - ADC)

ADC, analog bir sinyali dijital sinyale dönüştürmeye yarayan ünitedir. Bu dönüşüm, analog sinyalin belirlenen zaman dilimlerinde kaydedilerek dijital sinyale dönüştürülmesi ile yapılır. Analog sinyal üzerinde yapılan bu kaydedilme işlemine örnekleme, kaydedilme sıklığına ise örnekleme frekansı adı verilir. Sinyalin, analog formdan dijital forma ve sonraki süreçlerde kayıpsız bir şekilde analog forma tekrar dönüştürülebilmesi için örnekleme frekansının sinyal frekansının minimum iki katı olması gerekmektedir. Bu gerekliliğe "Nyquist Teoremi" denir.



Şekil 1.4 Analog bir sinyalin dijitale dönüştürülmesinde örnekleme evresi[10]

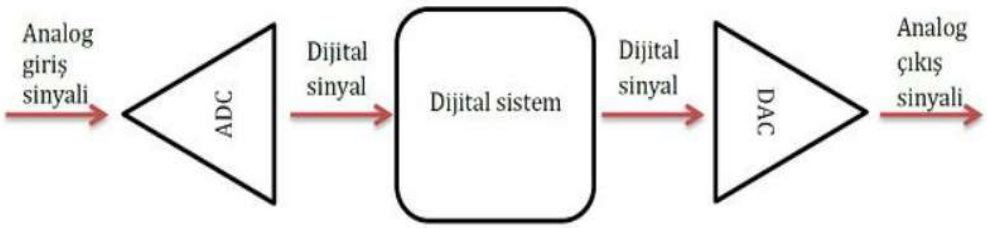
Örnekleme frekansının büyüklüğü ile dönüşümün kalitesi arasında bir doğru orantı vardır. Bununla birlikte örnekleme frekansı ne kadar büyük olursa, gönderilen sinyalin boyutu da o kadar büyük olacaktır. Bu safhadan sonra alınan her bir örnek için ortalama bir değer belirlenir ve bu değer en yakın seviyeye yuvarlanarak dijitalleştirilir. Ardından kodlama evresine geçilir. Bu evrede kaynak kodlaması yapılarak nicemleme işlemi yapılmış olan sinyal ikili kod sistemine dönüştürülür.

[10]H. Koray Tutkun, *Network Sistemleri,* Seçkin Yay. İstanbul, 2016, s.52.

Kanal kodlaması yapılarak ise haberleşme kanalı olası girişim ve gürültü etkilerine karşı korunmuş olur.[11]

1.2.2 Dijital – Analog Dönüştürücü (Digital to Analog Converter - DAC)

DAC, dijital bir sinyali analog sinyale dönüştüren bir sistemdir. Dijital değerlerin günlük hayatta verimli olarak kullanılabilmesi için analog değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Çalışma prensibi olarak, analog – dijital dönüştürücünün (ADC) tam tersi yönünde bir işleve sahiptir.



Şekil 1.5 Analog sinyalin ADC ve DAC vasıtasıyla dönüşüm işlemi [12]

1.3 MODÜLASYON

Bir haberleşme sisteminde, gönderilmek istenen bilgi sinyalleri başlangıçta düşük frekanslıdır ve bunların uzak mesafelere gönderilmesi zordur. Düşük frekanslı bu bilgi sinyallerinin uzak mesafelere daha kolay gönderilebilmesi için yüksek frekanslı taşıyıcı sinyaller üzerine bindirilmesi işlemine modülasyon ya da kipleme denir. Modülasyonda düşük frekanslı bilgi sinyaline modülasyon sinyali ya da

[11]Tongtong Li, *"Introduction to Wireless Communications and Networks"*, Michigan State University, https://www.egr.msu.edu/~tongli/Introduction-WCN.pdf (01.12.2020)
[12]"Analog ve Sayısal Sinyaller Sistemler Nedir?", https://teknolojiprojeleri.com/elektronik/analog-ve-sayisal-sinyaller-sistemler-nedir (02.12.2020)

modüle edici sinyal denirken, yüksek frekanslı taşıyıcı sinyale ise radyo frekans (Radio Frequency - RF) sinyali veya modüle edilen sinyal adı verilmektedir.[13]

Modülasyon işlemi haberleşme sistemlerinde birçok açıdan önemli işlevlere sahiptir. Eğer bu işlem olmazsa ve bilgi sinyali taşıyıcı sinyal üzerine bindirilemezse; verici sistemlerinde kullanılan anten boyutları çok daha büyük olur. Örneğin, 30 kHz bandında yapılan bir yayına ait vericide kullanılan anten boyu 2500 metredir. Bu boyutlarda bir antenin üretimi ve kurulumu imkansızdır. Anten boyutlarını küçültmek için bilgi sinyali modülasyon işlemine tabi tutulur. Müzik ve konuşma gibi ses sinyalleri de başlangıçta düşük frekanslı olduklarından dolayı yüksek dalga boyuna sahiptirler. Yüksek dalga boyuna sahip bu sinyalleri iletmek hem sistemsel açıdan hem de ekonomik açıdan güçtür. Modülasyon işlemi sayesinde düşük frekanslı ve yüksek dalga boyuna sahip bu sinyaller yüksek frekanslı taşıyıcı sinyal üzerine bindirilerek uzak mesafelere kolaylıkla iletilir.[14]

1.3.1 Modülasyon Tipleri

Modülasyon işlemi yüksek frekanslı taşıyıcı sinyalin sahip olduğu üç temel özellikten biri olan; frekans, genlik veya faz kavramlarından birinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte modülasyon tipleri analog ve dijital olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

1.3.1.1 Analog Modülasyon

Analog modülasyonda modüle edilen sinüs sinyalinin karakteristikleri (genlik, frekans veya faz), kaynaktan gelen bilgi sinyaline bağlı olarak değerler alır. Bu modülasyon tipinin iki biçimi bulunmaktadır. Bunlar; genlik modülasyonu (Amplitude Modulation - AM) ve frekans modülasyonudur (Frequency Modulation -

[13] C. Taşkın, 2018, s.5.
[14] A.g.e., s.6.

FM). Bu modülasyon tekniklerinin de çoğunluklu olarak AM ve FM radyo yayınlarında kullanıldığı bilinmektedir.[15] Ülkemizde; Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından hazırlanan milli frekans planına göre, 87.50 MHz - 108.0 MHz bandı, FM radyo yayınları için kullanılmaktadır. Ayrıca söz konusu plan incelendiğinde BTK tarafından belirlenen diğer bant aralıklarında sivil veya askeri kurum/kuruluşlar tarafından AM analog ses yayınlarının yapıldığı bilgisine de ulaşılmaktadır.[16]

1.3.1.2 Dijital Modülasyon

Dijital modülasyon tekniklerinde; iletilecek sinyal, analog bir sinyalin nicemlendirme ve sayısallaştırma işlemleri neticesinde ikili kod sistemine dönüştürülmüş halini ifade eder. Verici tarafından bu işaret dizileri (bir veya daha fazla bit) herhangi bir anda gönderilebilir. Dijital modülasyonda, alıcı ve verici sistemlerinin eş zamanlı çalışabilmeleri için her bir işaret belirli bir zaman aralığında yer kaplar. Bu sayede alıcı tarafında her bir işaretin sırayla demodüle edilmesi sağlanmış olur.[17]

- Dijital modülasyon türlerinden en temel olanı, her bir bitin değerine bağlı olarak taşıyıcının açılıp kapatıldığı açık-kapalı anahtarlamadır (On-Off Keying - OOK).
- Genlik kaydırmalı anahtarlama (Amplitude Shift Keying - ASK) tekniğinde; frekans sabitken, taşıyıcı sinyalin genliği her bir adımda yer alan bit değerlerine göre ayrık adımlarla değiştirilir. Dar bir bant genişliğine ihtiyaç duyulan ve girişime (enterferans) aşırı duyarlı olan bir tekniktir.

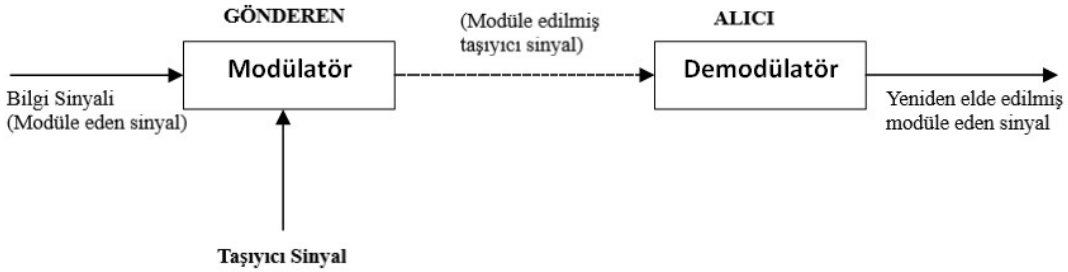
[15] Joseph Kabara vd., *The Physical Layer of Communications Systems*, University of Pittsburgh, 2006, s.676.
[16] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, *Milli Frekans Planı*, 2019, https://www.btk.gov.tr/uploads/undefined/mfp-01-02-2019.pdf (06.12.2020)
[17] Overview of Mobile Communication Systems, https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/27291/ch2.pdf (07.12.2020)

- Frekans kaydırmalı anahtarlamada (Frequency Shift Keying - FSK), genlik sabitken her bir bit değerine göre taşıyıcı sinyalin frekansı değiştirilir ve büyük bir bant genişliğine ihtiyaç duyulur.
- Faz kaydırmalı anahtarlamada (Phase Shift Keying - PSK), taşıyıcı sinyalin faz değerleri değiştirilerek veri iletimi yapılır. Bu teknik; diğer modülasyon tekniklerine göre karmaşık bir yapıya sahip olup, başka sinyallerden kaynaklı girişime karşı daha dayanıklıdır. Bu tekniğin QPSK, 8PSK ve 16PSK gibi çeşitleri bulunmaktadır[18]
- Diferansiyel olarak kodlanmış faz kaydırmalı anahtarlamada (Differential Phase Shift Keying - DPSK), her bir işaret önceden iletilen sinyale göre bir faz kayması ile ifade edilir. Bu durum, alınan sinyalin fazının hızla değiştiği ve sabit bir faz referansının muhafaza edilmesinin zor olduğu mobil sistemler için idealdir.
- Kare genlik modülasyonu tekniğinde (Quadrature Amplitude Modulation - QAM) ise, hem genlik hem de faz açısından değişken işaretler kullanılır. Potansiyel olarak diğer tekniklerden daha fazla işaret bulunur ve kanalda meydana gelebilecek değişikliklere karşı hassastır. Bundan dolayı mobil sistemler için kullanımı zordur. Bu teknik, veri hızının çok yüksek olduğu sabit mikrodalga ve fiber optik sistemler için daha uygundur.

1.4 DEMODÜLASYON

Modüle edilerek taşınan sinyal hedefe ulaştığında, alıcıda birtakım işlemlere tabi tutularak orijinal bilgi sinyaline dönüştürülmesi gerekir. Bunun için modülasyon yapılarak hedefe gönderilen bilgi sinyali, taşıyıcı sinyalden ayrılır. Bu işleme demodülasyon adı verilmektedir ve bu işlem modülasyonun tersi yönünde bir çalışma prensibine sahiptir.

[18] "Digital Modulation", http://www.pitt.edu/~dtipper/DM.pdf (10.12.2020)



Şekil 1.6 Modülasyon ve Demodülasyon işlemleri[19]

1.5 ÇOĞULLAMA (MULTIPLEXING)

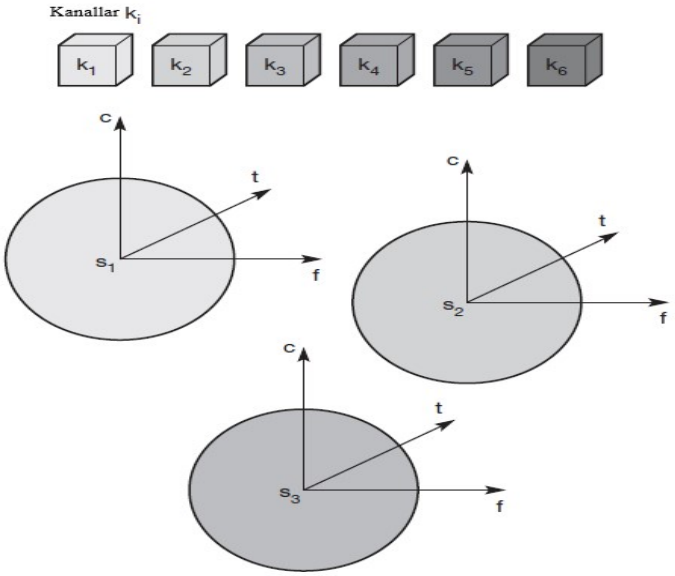
Çoğullama veya çoklama sadece haberleşme sistemlerinde değil, günlük yaşamda da kullanılan en temel kavramlardan bir tanesidir. Bu kavram, birden fazla kullanıcının bir ortamı minimum girişimle veya girişim olmaksızın nasıl paylaşabileceğini ifade eder. Bu duruma en temel örnek, birkaç şeritten oluşan otoyollardır. Pek çok sürücü kazasız veya minimum kaza ile otoyolları aynı anda kullanırlar. Günlük hayattan verilen bu örnek, trafiğin birkaç şeritle ayrılmasıyla (alan bölmeli çoğullama) mümkün hale gelir. Bununla birlikte farklı araçlar, aynı ortamı zaman içinde (zaman bölmeli çoğullama) farklı noktalarda kullanır. Bu basit örnek çoğullamanın günlük yaşamdaki kullanımını gösterirken, aşağıda yer alan örneklerle çoğullamanın kablosuz ve mobil haberleşme sistemlerindeki kullanımları ele alınacaktır.[20]

1.5.1 Uzay Bölmeli Çoğullama (Space Division Multiplexing - SDM)

Kablosuz bir haberleşme için çoğullama dört boyutta gerçekleştirilebilir. Bunlar; uzay, zaman, kod ve frekanstır. Bu noktada çoğullamanın görevi her haberleşme kanalına minimum girişim ve maksimum ortam kullanımı sağlayacak şekilde alan, zaman, frekans ve kod ataması yapmaktır.[21]

[19]C. Taşkın, 2018, s.7.
[20]Jochen Schiller,*Mobile Communications,* Pearson Education Limited, Edinburgh, 2003, s.41.
[21]A.g.e.,s.41.

Şekil 1.7'de üç boyutlu bir koordinat sistemi ve altı adet kanal gösterilmektedir. Bu üç boyutlu sistemde c parametresi kod, t parametresi zaman ve f parametresi ise frekans olarak temsil edilmektedir. Çoğullama tiplerinin birincisi olan uzay bölmeli çoğullama (SDM) için üç boyutlu uzay, s_1-s_3 olarak gösterilmektedir. k_1-k_3 kanalları, girişim aralıklarının birbiri üzerine binmesini engelleyen ve kanalları birbirinden ayıran s_1-s_3 boşlukları ile eşleştirilebilir. Girişim aralıkları arasındaki boşluk, koruma alanı olarak da adlandırılabilir. Çoğullama tiplerinin hepsinde böyle bir koruma alanına ihtiyaç duyulmaktadır.[22]



Şekil 1.7 Uzay Bölmeli Çoğullama (SDM)[23]

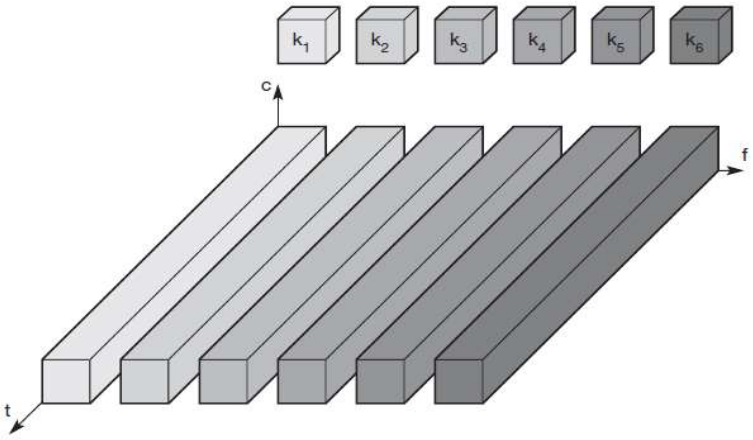
Geri kalan kanallar için (k_4-k_6) üç ek boşluk gerekecektir. Bu durum, yukarıda verilen otoyol örneğinde her sürücünün kendi şeridine sahip olması anlamına gelmektedir. Bu metot açıkça bir alan israfı anlamına gelse de, her aboneye yerel santral için ayrı bir çift bakır kablonun verildiği eski analog telefon sistemlerinde kullanılmıştır. Kablosuz iletimde SDM, aralarında yeterince geniş bir mesafe bulunan her bir gönderici için ayrı bir iletim kanalının olması anlamına gelir. Bu çoğullama tekniği, iletim aralığının belirli bir bölge ile sınırlı olduğu FM radyo istasyonlarında kullanılır. Dünya genelinde birçok radyo istasyonu, girişime

[22]J. Schiller, 2003, s.42.
[23]A.g.e., s.42.

(enterferans) uğramaksızın aynı frekansı kullanabilmektedir. Bununla birlikte, aynı alanda iki veya daha fazla kanalın kurulması durumunda, diğer bir deyişle aynı şehirde birkaç radyo istasyonu aynı anda yayın yapmak isterse, birtakım sorunlarla karşılaşılabilir. Bu durumda aşağıda yer alan çoğullama tekniklerinden birinin kullanılması gerekir.[24]

1.5.2 Frekans Bölmeli Çoğullama (Frequency Division Multiplexing - FDM)

Frekans bölmeli çoğullama, Şekil 1.8'de görüldüğü gibi frekans boyutunun birbiriyle örtüşmeyen birkaç frekans bandına bölündüğü tekniktir ve her kanal (k) kendi frekans bandına tahsis edilmiştir. Belirli bir frekans bandını kullanan vericiler, bu bandı sürekli olarak kullanabilmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi burada da bitişik kanal girişimi olarak da bilinen frekans bantlarının üst üste binmesini engellemek amacıyla koruma alanlarına ihtiyaç duyulur.[25]



Şekil 1.8 Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM)[26]

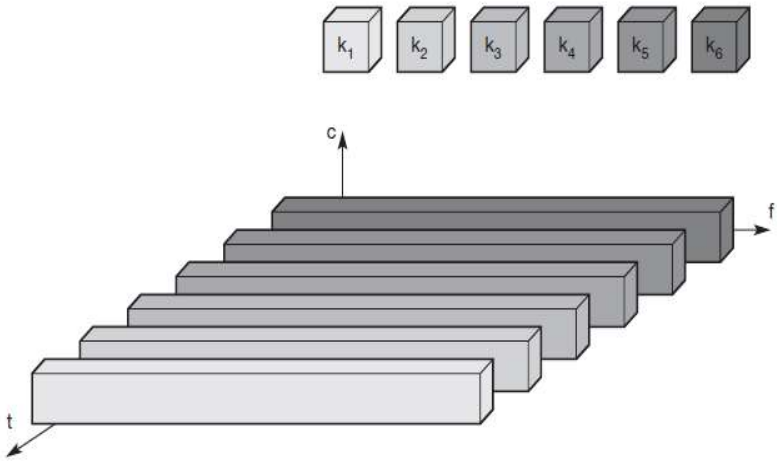
Şekil 1.8'de görülen şema, bir bölgede her bir radyo istasyonunun kendi frekansına sahip olduğu sistemler için kullanılır. Bu basit çoğullama şeması, verici ve alıcı arasında karmaşık bir koordinasyona gereksinim duymaz. Yalnızca, alıcının belirli bir vericiye göre ayarlanması gerekir. Ancak, bu sistemin birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Örneğin, radyo istasyonları 7/24 yayın yaparken, mobil iletişim günde bir kez ve birkaç dakika sürebilir. Sonuç olarak her bir iletişim

[24]J. Schiller, 2003, s.42-43.
[25]A.g.e., s.43.
[26]A.g.e., s.43.

kanalı için ayrı bir frekans atamak, kısıtlı bir kaynak olan frekans bandının son derece verimsiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bir vericiye bir frekansın sabit olarak atanması, frekans bandını esnek olmayan bir hale getirir ve verici sayısını sınırlar.[27]

1.5.3 Zaman Bölmeli Çoğullama (Time Division Multiplexing - TDM)

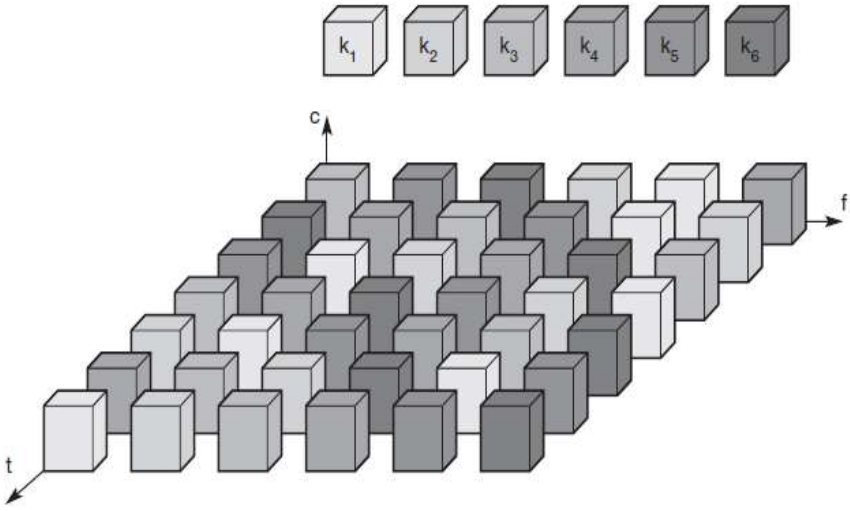
Tipik mobil haberleşme sistemleri için daha esnek bir çoğullama yöntemi, zaman bölmeli çoğullamadır (Time Division Multiplexing - TDM). Şekil 1.9'da görüldüğü gibi, tüm bant genişliği belirli bir süre boyunca bir kanala (k) tahsis edilir. Bu durumda, tüm vericiler zaman içinde farklı noktalarda aynı frekansı kullanır ve zaman boşluklarını temsil eden koruma alanları, vericiler tarafından ortam kullanılırken periyodik bölme işlemini yapmalıdır. Bu yapı, verilen otoyol örneğinde iki araç arasındaki boşluğa karşılık gelmektedir. Zaman içinde de iki iletimin birbiriyle çakışması durumunda ortak kanal girişimi (co-channel interference) meydana gelir. Bu tür girişimleri önlemek için vericiler arasında hassas bir senkronizasyon gerekir.[28]



Şekil 1.9 Zaman Bölmeli Çoğullama (TDM)[29]

[27]J. Schiller, 2003, s.43.
[28]A.g.e., s.44.
[29]A.g.e., s.44.

Frekans ve zaman bölmeli çoğullama birleşik hale getirilip tek bir sistem halinde kullanılabilir. Şekil 1.10'da gösterildiği gibi bir kanal belirli bir süre boyunca belirli bir frekans bandını kullanabilir. Bu sistemde hem zaman hem de frekans boyutunda koruma alanlarına ihtiyaç duyulur. Ayrıca bu çoğullama tekniği, belirli bir küçüklükteki frekans bandında oluşabilecek girişime karşı daha dayanıklı olmakla beraber, dinlemelere (tapping) karşı zayıf bir koruma yapısına sahiptir. Cep telefonu standardı olan GSM (Global System for Mobile Communications), bu çoğullama tipini cep telefonu ve baz istasyonları arasında kurulan haberleşme ağında kullanır.[30]



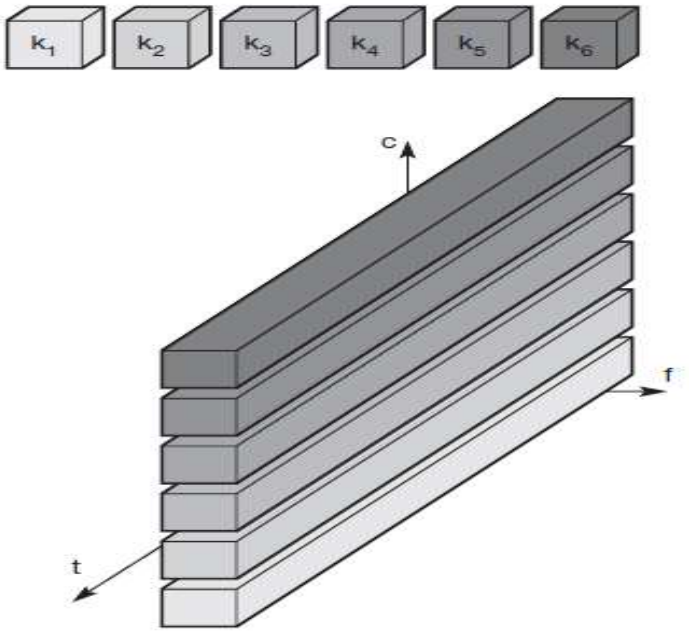
Şekil 1.10 Frekans ve Zaman Bölmeli Çoğullamanın birleşik yapısı[31]

Ayrıca, bu yapının bir dezavantajı da farklı vericiler arasında olması gereken koordinasyondur. Bu koordinasyondan kasıt, frekans sıralaması ve başka bir frekansa geçiş zamanının sürekli kontrol edilmesidir. İki vericinin aynı frekansı aynı anda seçmesi durumunda sisteme müdahale edilmesi gerekir. Bununla birlikte, frekans değişimi (frekans atlaması) yeterince hızlı olursa, kanallar arası girişim fazlasıyla küçük olur ve bu sayede alıcı sistemlerinde verilerin kodlanma yapısına bağlı olarak orijinal veri elde edilebilir.

[30]J. Schiller, 2003, s.45.
[31]A.g.e., s.45.

1.5.4 Kod Bölmeli Çoğullama (Code Division Multiplexing - CDM)

Uzay bölmeli ve frekans bölmeli çoğullamalar, telsiz haberleşmesinin keşfedildiği dönemlerden bu yana bilinirken, zaman bölmeli çoğullama nispeten yeni bir çoğullama tekniğidir. Kod bölmeli çoğullama (CDM) ise, ticari haberleşme sistemlerinde bu üç tekniğe kıyasla yeni bir teknik olarak bilinmektedir. İlk olarak güvenlik noktasında sahip olduğu özellikler sebebiyle askeri sistemlerde kullanılmıştır. Günümüzde ise düşük maliyetli bir işlem olması nedeniyle birçok sivil kablosuz haberleşme sistemlerinde tercih edilmektedir. Şekil 1.11, tüm kanalların (k_1-k_6) iletim için aynı frekansı aynı anda nasıl kullandığını göstermektedir. Burada ayrım işlemi, her kanala ait bir kodun belirlenmesiyle gerçekleştirilir.[32]



Şekil 1.11 Kod Bölmeli Çoğullama (CDM)[33]

Kod bölmeli çoğullamanın en temel avantajı, girişim (enterferans) ve dinlemelere karşı iyi bir koruma sağlamasıdır. Bu yapıda farklı kodların atanması gereklidir ancak kod alanı frekans alanına kıyasla çok daha büyüktür. Sonuç olarak her vericiye ayrı kod atanması, genellikle bir problem teşkil etmemektedir. Zorluk

[32]J. Schiller, 2003, s.45.
[33]A.g.e., s.46.

olarak değerlendirilebilecek dezavantajı ise, bu şemada yer alan alıcı sistemlerinin sahip olduğu karmaşık yapıdır. Bu karmaşık yapı, alıcının kodu bilmesi ve kanalı kullanıcı verileri ile diğer sinyaller ve çevre gürültüsünden ayırma işlemini içinde barındırır. Ek olarak, kod çözme işleminin doğru bir şekilde uygulanması için alıcı ile verici arasında kusursuz bir senkronizasyon olması gerekir.[34]

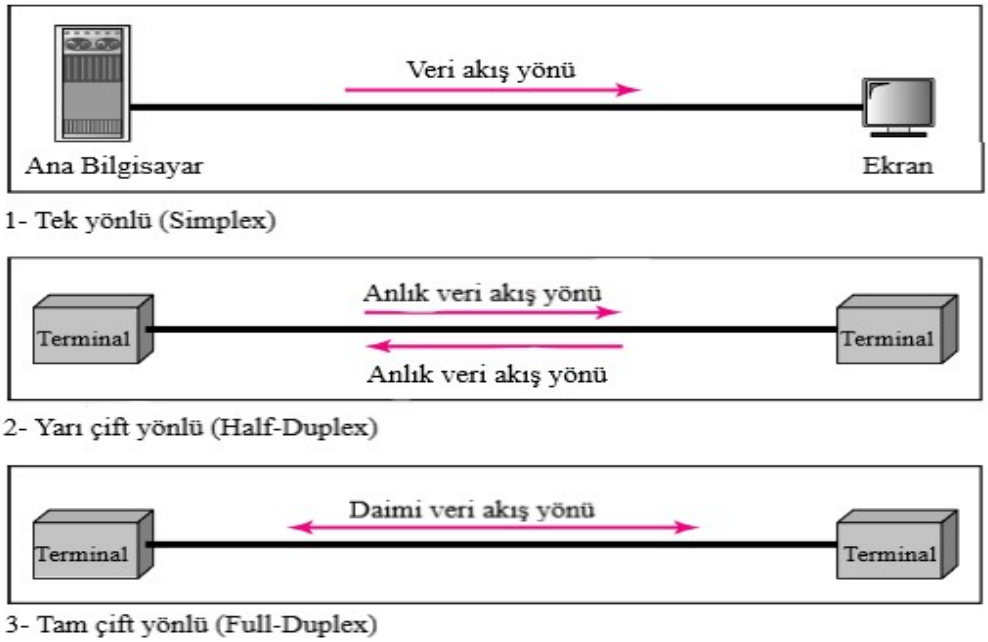
1.6 VERİ İLETİŞİMİ

Veri iletişimi, sayısal bir verinin oluşturulduğu cihazdan (kaynak) farklı cihaz veya cihazlara (hedef) aktarılması işlemidir. Bu işlem, uygun bağlantı veya hatlar kullanılarak verinin kaynak-hedef arasında gidip gelmesiyle gerçekleşir. Bunun için bir hattın iki ucunda terminal olarak da adlandırılabilecek bilgisayar veya mobil cihaza ihtiyaç vardır. Telefon, radyo ve televizyon sistemleri ile bilgisayar ve internet ağları, veri iletişim sistemlerine verilebilecek en iyi örneklerdir.

Her tür veri iletişimi, sinyalin yönü ile karakterize edilir. Bu bağlamda veri iletişimi, verici ve alıcı sistemler arasında üç farklı şekilde yapılabilmektedir.

- Tek yönlü (Simplex) iletişim, verinin yalnızca tek yönde aktarılmasıdır. Bir FM radyo yayını veya bir kişinin mikrofona konuşması ve sesin mikrofondan hoparlöre hareket etmesi örnek olarak gösterilebilir.
- Yarı çift yönlü (Half-Duplex) iletişim, verinin her iki yönde de gönderilebildiği ancak aynı anda tek bir yöne bunun sağlandığı iletişim sistemidir. Örneğin, bir seferde tek bir kişinin konuşmasına izin verilen polis telsizleri bu iletişim yapısına sahiptir.
- Tam çift yönlü (Full-Duplex) iletişim, aynı anda her iki yönde veri aktarımına olanak sağlayan ve en yaygın kullanılan iletişim sistemidir. Telefon IP hizmeti tam çift yönlü iletişime örnektir.[35]

[34] J. Schiller, 2003, s.46.
[35] C. Taşkın, 2018, s.15-16.



Şekil 1.12 Veri iletişimi ve çeşitleri[36]

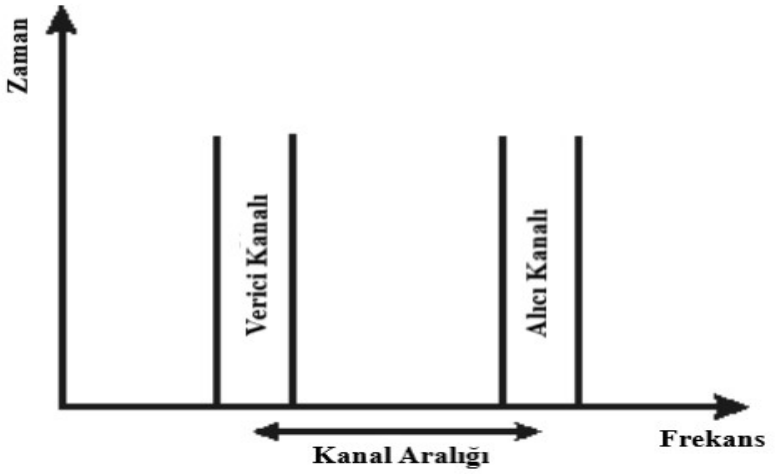
Veri şebekelerinin çoğu, alıcı ve verici sistemlerini birbirine bağlayan bir ortamda farklı kanalları kullanırken çift yönlü iletişimi kullanmaktadır. Kanalların dijital değil de fiziksel olmaları durumunda, veri aktarımı ve alımı için ayrık kablolar kullanılır. Bu ayrık kanalların her biri yarı çift yönlüdür ve birlikte çalıştıkları için tam çift yönlü işlevi görür. Ayrıca, tam çift yönlü yapısının kullanımı da veri aktarım hızını artırmaktadır. Modern şebekelere ait arayüz kartları, çift yönlü iletişim destekli olarak yapılandırılmıştır. Tam dubleksin (Full-Duplex) iki temel biçimi bulunmaktadır. Bunlar frekans bölmeli dubleks (Frequency Division Duplex - FDD) ve zaman bölmeli dublekstir (Time Division Duplex - TDD).

1.6.1 Frekans Bölmeli Dubleks (FDD)

FDD, sinyallerin iki farklı frekans kullanılarak eş zamanlı olarak iletilmesi ve alınması fikrini temel alır. Şekil 1.13'te görüldüğü gibi, alıcı ile verici aynı frekansa

[36]Cahit Karakuş, *Veri Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri* ,2011, s.60.

ayarlanmadığından dolayı FDD kullanılarak sinyallerin eş zamanlı olarak iletilmesi ve alınması mümkün hale gelmektedir.



Şekil 1.13 Frekans Bölmeli Dubleks (FDD)[37]

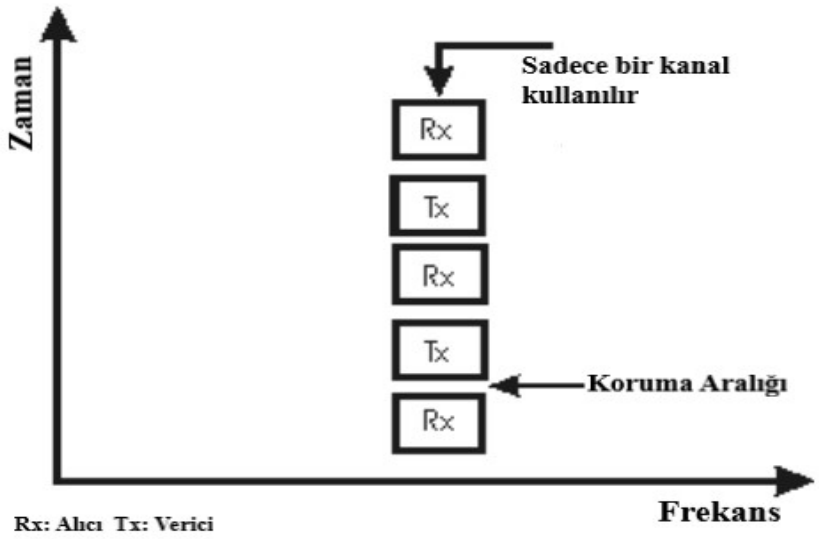
FDD sisteminin sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla, iletim ve alım frekansları arasındaki kanal aralığının, alıcının verici sinyalinden gereksiz şekilde etkilenmesini önlemek için yeterli büyüklükte olması gerekir. Bu aralık koruma bandı olarak bilinmektedir. Alıcının bloke olması FDD tasarımında önemli bir durumdur ve bu durumda oldukça seçici filtrelerin kullanılması çoğu zaman gerekebilmektedir. FDD kullanılan hücresel sistemlerde ise, alıcının hassasiyetinde bir azalmaya sebep olmaksızın verici sinyalinin yeterli izolasyonunu sağlamak amacıyla baz istasyonunda ve cihazda filtrelere ihtiyaç duyulabilir. Baz istasyonu için maliyet çok önemli bir etken olmasa da, mobil cihazlara filtre yerleştirilmesi daha büyük bir sorun teşkil etmektedir.[38] Sonuç olarak, sinyal iletişiminde FDD'nin kullanılması sinyallerin eş zamanlı iletimini ve alımını mümkün kılmaktadır. Buna karşın, bu işlemlerde iki kanala ihtiyaç duyulması spektrumun verimli bir şekilde kullanılamamasına neden olmaktadır.

[37] "TDD FDD Duplex Schemes", https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/cellular-mobile-phone/duplex-time-frequency-division-tdd-fdd.php (19.02.2021)
[38] A.g.k.

1.6.2 Zaman Bölmeli Dubleks (TDD)

Zaman bölmeli dubleks, sinyal iletimi ve alımı için tek bir frekansın kullanıldığı bir yöntemdir. Bu tasarımda bir kanal, iki sinyalin zaman bazında çoklanarak birbirinden ayrılmasıyla iletim ve alım işlemleri arasında paylaştırılır. TDD, veri (dijitalleştirilmiş ses veya data) iletiminde kullanılmaktadır. İletim sürelerinin nispeten kısa olmasından dolayı, ses aktarımlarında TDD kaynaklı zaman gecikmesi fark edilemeyecek kadar az olmaktadır.

FDD iletimlerinde verici ve alıcı frekansları arasında bir koruma bandı gerekirken, TDD şemasında iletim ve alım arasında bir koruma süresi veya koruma aralığına ihtiyaç vardır (Şekil 1.14). Bu koruma süresi uzak vericiden gelen sinyallerin bir iletim başlatmadan ve alıcı engellenmeden önce ulaşmasına izin vermek için yeterli büyüklükte olması gerekmektedir. Bu gecikme süresi oldukça kısa olmasına rağmen saniyede birçok kez gönderim ve alım işlemi arasında geçiş yaparken, koruma aralığında küçük bir zamansal hatanın vuku bulması bile sistemin verimliliğini azaltabilmektedir.[39]



Şekil 1.14 Zaman Bölmeli Dubleks (TDD)[40]

[39] "TDD FDD Duplex Schemes".
[40] A.g.k.

TDD için gerekli koruma aralığı iki ana unsuru içermektedir:

- Uzak vericiden gelen herhangi bir sinyalin alıcıya ulaşmasında meydana gelen yayılım gecikmesi (propagation delay) için bir zaman payı. Bu süre mesafelere bağlı olarak değişir. Örneğin, bir kilometrelik bir mesafeyi katetmek yaklaşık 3.3 mikrosaniye sürmektedir.
- Vericide bulunan alıcı sistem yapısının, alımdan iletime geçmesi için bir zaman payı, kısaca anahtarlama süresi. Bu anahtarlama hızı her bir teçhizata göre değişebilmekte olup genellikle birkaç mikrosaniye sürebilmektedir.

Sonuç olarak koruma süresi arttıkça kanal verimliliği düştüğü için TDD, uzun mesafeli iletişim için fazla tercih edilmemektedir. TDD iletimleriyle ilgili vurgulanması gereken önemli hususlardan bir tanesi de gecikme yönüdür. Gönderim ve alım arasındaki zaman çoğullamasının bir sonucu olarak verilerin üretimi ile iletimi arasında küçük bir gecikme süresinin olması muhtemeldir.[41]

Veri iletimi noktasında baz istasyonundan mobil cihaza ve mobil cihazdan baz istasyonuna olan bağlantı arasında ayrım yapmak gerekmektedir. Baz istasyonundan mobil veya kullanıcı cihazına olan bağlantıya ileri bağlantı (downlink - DL), mobil veya kullanıcı cihazından baz istasyonuna olan bağlantıya ise geri bağlantı (uplink - UL) adı verilmektedir.[42] Genellikle her iki yöndeki veri trafiği dengeli değildir. Tipik bir hücresel telekomünikasyon sisteminin ileri bağlantı (downlink) yönünde daha fazla veri akışı gerçekleşmektedir. Bu, ideal olarak kapasitenin ileri bağlantı yönünde daha büyük olması gerektiği anlamına gelir. Bir TDD sistemi kullanılarak, her bir yöne tahsis edilen zaman dilimlerinin sayısını değiştirerek her iki yöndeki kapasiteyi değiştirmek kolaylıkla mümkün olur. Genellikle bu kapasite talebe uygun olarak dinamik bir şekilde değiştirilebilir.

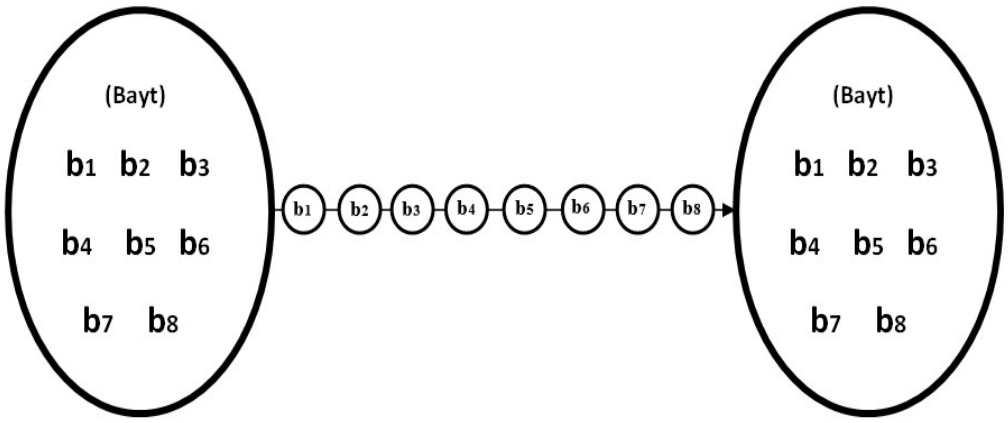
[41] "TDD FDD Duplex Schemes".
[42] A.g.k.

1.7 VERİ İLETİM YÖNTEMLERİ

Her veri aktarımında verici ve alıcı sistemlerinde aynı protokol uygulanır. Bu sayede her iki sistemde de aynı düzeyde bilgiye sahip olunması ve verilerin aktarım hızının bilinmesi sağlanmaktadır. Bu bağlamda, veri iletimine ilişkin birçok protokol bulunmakla beraber bu işlem esasen iki farklı yöntemle gerçekleştirilir. Bu yöntemler seri ve paralel iletimdir.

1.7.1 Seri İletim

Seri iletimde semboller (0 ve 1'ler) her seferinde bir bit olacak şekilde aynı kanalda sırayla aktarılır. Bu şekilde kullanılan kanal sayısı azaltılmış olsa da, iletim hızında birtakım yavaşlamalar meydana gelir. İletim hızı bir saniyede aktarılan sembol sayısına karşılık gelmektedir ve bps (bits per second) olarak simgelenir. Seri iletim, paralel iletime kıyasla daha düşük bir iletim hızına, daha uzun bir iletim hattına ve daha düşük bir maliyete sahiptir. Bilgisayar ağ sistemlerinde veri aktarımı seri iletim ile gerçekleştirilir. Seri iletim senkron ve asenkron olmak üzere iki türe ayrılır.[43]



Şekil 1.15 Seri iletim[44]

[43] C. Taşkın, 2018, s.19.
[44]" Serial Transmission vs. Parallel Transmission", https://medium.com/@AriaZhu/serial-transmission-vs-parallel-transmission-3689e1af9200 (25.12.2020)

1.7.1.1 Senkron İletim

Eş zamanlı (senkron) veri aktarımı için hem verici hem de alıcı, verilere aynı zamanda erişir. Bu nedenle, senkronizasyonu sağlayan saat sinyali için özel bir hat gereklidir. Bir ana birimin, senkronize veri aktarımında tüm alıcılara saat sinyalini sağlaması gerekmektedir. Bu aktarım türü, yüksek hızda veri transferi yapılan iletimlerde kullanılmaktadır.[45]

1.7.1.2 Asenkron İletim

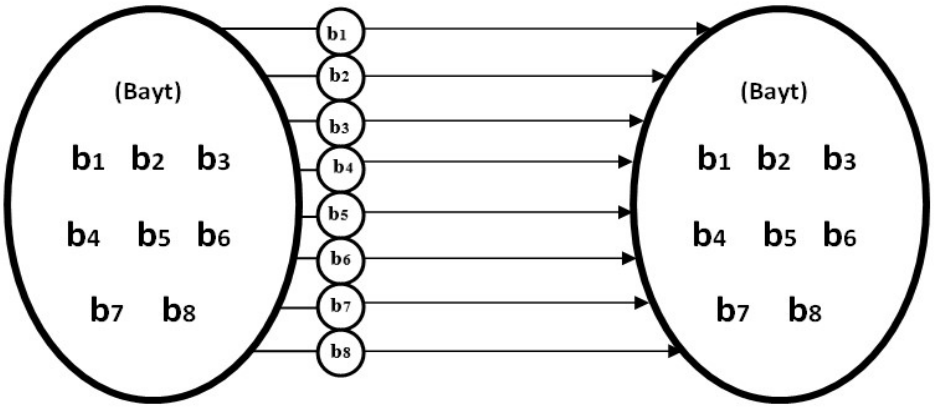
Eş zamanlı olmayan (asenkron) veri aktarımı için verici ve alıcılar arasında senkronizasyonu sağlayan ortak bir saat sinyali yoktur. Bu nedenle, gönderici ve alıcının öncelikle bir veri aktarım hızı üzerinde anlaşması gerekir. Bu hız genellikle veri aktarımı başladıktan sonra değişmez. Hem verici hem de alıcı, veri erişiminin bu anlaşmaya uygun olduğundan emin olmak için kendi dahili devrelerini kurar. Bununla birlikte, bazı saatlerin diğerlerinden daha hızlı çalışması gibi, bilgisayar saatleri de doğruluk açısından farklılık gösterebilir. Fark çok küçük olmasına rağmen hızlı bir şekilde büyüyebilir ve sonunda veri aktarımında hatalara neden olabilir. Bu sorun; verilerin önüne, ortasına veya sonuna senkronizasyon bitleri eklenerek çözülür. Senkronizasyon periyodik olarak yapıldığından, alıcı bu saat hatasını düzeltebilir. Senkronizasyon bilgisi, her veri baytına veya her veri çerçevesine eklenebilir. Bu ekstra senkronizasyon bitlerinin gönderilmesi, veri aktarımında %50'ye kadar ek yük oluşturur ve dolayısıyla gerçek veri aktarım hızını yavaşlatır.[46]

1.7.2 Paralel İletim

Paralel iletimde birden çok karakter (n-bit) bir iletim kanalı içerisinde n adet kanal vasıtasıyla aynı anda aktarılır. Bu iletim tekniği, bir seferde birden fazla

[45] "Synchronous vs. Asynchronous", http://et.engr.iupui.edu/~skoskie/ECE362/lecture_notes/LNB25_html/text12.html (27.02.2021)
[46] A.g.k.

karakterin aynı anda iletimi sayesinde seri iletime göre daha hızlı bir yapıya sahiptir. Bununla birlikte, birden çok kanalın aynı anda kullanımı maliyeti artırmaktadır. Ayrıca mesafe uzadıkça kanallar arasındaki senkronizasyon süresi de daha hassas hale gelmektedir. Bundan dolayı kısa mesafeli veri aktarımlarında daha çok kullanılmaktadır.[47]

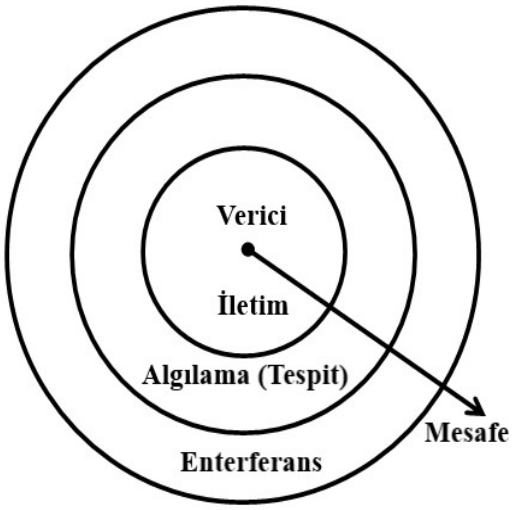


Şekil 1.16 Paralel iletim[48]

1.8 SİNYAL YAYILIMI

Kablolu veya kablosuz bütün haberleşme ağlarında sinyal göndericileri ile alıcılarının olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, sinyal yayılımı noktasında bu iki yapı arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Kablosuz haberleşmede sinyalin yayılım yönünü belirleyecek bir kablo ortamı bulunmaz. Buna karşın, kablolu haberleşmede sinyaller yalnızca tel boyunca hareket etmektedir. Telde herhangi bir kesinti veya hasar olmadığı sürece, sinyal tipik olarak her noktada aynı özellikleri sergiler. Bu tel boyunca hareket eden sinyalin durumu, uzunluğa bağlı olarak güç bazında hesaplanabilmektedir. Kablosuz haberleşmede ise sinyalin bu durumu, sadece boşlukta (verici ile alıcı sistemleri arasında herhangi bir engel olmaksızın) hesaplanabilir.

[47] C. Taşkın, 2018, s.18.
[48] "Serial Transmission vs. Parallel Transmission", https://medium.com/@AriaZhu/serial-transmission-vs-parallel-transmission-3689e1af9200 (25.12.2020)



Şekil 1.17 Sinyaller için iletim, algılama ve enterferans aralıkları[49]

Sinyal yayılımında yer alan aralıklar Şekil 1.17'de görülmektedir. İletim (transmission) aralığında gönderilen sinyaller, alıcı tarafından çok düşük bir hata oranıyla alınır. Bundan dolayı alıcı, bir vericiymiş gibi hareket edebilir. Algılama veya tespit (detection) aralığında sinyal iletimi üzerinde tespit yapılabilmesi mümkündür. Bu durumda gönderilen güç, çevre gürültüsünden oldukça büyüktür. Bununla birlikte bu aralıkta hata oranları bir miktar yüksektir. Elektronik girişim ya da enterferans (interference) olarak adlandırılan aralıkta ise, verici tarafından gönderilen sinyaller çevre gürültüsü veya diğer etkenlerden dolayı parazit oluşmasına sebep olabilir. Bu alanda alıcı tarafından sinyallerin algılanması çok güçtür ve bu sinyaller diğer sinyaller üzerinde bozulmalara sebebiyet verebilir.[50]

1.9 HABERLEŞME SEKTÖRÜNDE ULUSLARARASI KOORDİNASYON VE STANDARTLAR

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler ışığında haberleşme sektörüne yön vermek, ülkeler arası iş birliği ve koordinasyonunu sağlamak amacıyla oluşturulmuş birtakım kuruluşlar bulunmaktadır.

[49]Jochen Schiller, 2003, s.36.
[50]A.g.e., s.36.

1.9.1 Uluslararası Telekomünikasyon Birliği

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union - ITU) haberleşme ağlarında uluslararası bağlantıyı kolaylaştırmak adına 17 Mayıs 1865'te "Uluslararası Telgraf Birliği" adıyla kurulmuştur. Birleşmiş Milletlerin özelleşmiş kuruluşlarından bir tanesidir ve merkezi İsviçre'nin Cenevre şehrinde yer almaktadır. Günümüz itibariyle birliğin, 193 üye ülke ile 700'ü aşkın özel sektör kuruluşu ve akademik enstitü üyesi bulunmaktadır.[51] Bu kuruluşun temel görevleri arasında;

- Küresel radyo frekans spektrumu ve uydu yörüngeleri tahsisi yapmak,
- Cep telefonları ve çağrı cihazları, uçak ve deniz navigasyon sistemleri, bilimsel araştırma istasyonları uydu iletişim sistemleri ile radyo ve televizyon yayıncılığı gibi radyo tabanlı sistemlerin sorunsuz bir şekilde işlemeye devam etmesini sağlamak,
- Kablosuz ve mobil hizmetlerin dünya geneline güvenli bir biçimde ulaştırılmasına katkıda bulunmak,
- Ağ ve teknolojilerin sorunsuz bir şekilde birbirine bağlanmasını sağlayan teknik standartları geliştirmek,
- Dünya çapında yetersiz hizmet alan topluluklara teknoloji erişimi noktasında iyileştirme çalışmaları yapmak yer almaktadır

Bunların yanı sıra ITU, dünyanın yükselen ekonomilerinde telekomünikasyon altyapısında hızlı iyileştirmeler yapılmasına yardımcı olmaktadır. ITU, söz konusu çalışmalarını üç sektör halinde sürdürmektedir. Bunlar;

- Telekomünikasyon Standartları Sektörü (The Telecommunication Standardization Sector - ITU-T),
- Radyokomünikasyon Sektörü (The Radiocommunication Sector - ITU-R),
- Telekomünikasyon Geliştirme Sektörü (The Telecommunication Development Sector - ITU-D)'dür.

[51] "About International Telecommunication Union (ITU)", https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx (10.01.2021)

1.9.2 Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Avrupa Konferansı

Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Avrupa Konferansı (The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations - CEPT) 1959'da 19 ülke tarafından kurulmuş ve ilk on yılında üye sayısı 26'ya çıkmıştır. CEPT'in temel amacı, üyeler arasındaki ilişkileri güçlendirmek, iş birliğini teşvik etmek ve Avrupa postaları ve elektronik iletişim alanında dinamik bir pazarın oluşturulmasına katkıda bulunmaktır.[52]

1.9.3 Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü

Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute - ETSI), Avrupa'da telekomünikasyon endüstrisinde (ekipman üreticileri ve ağ operatörleri) dünya çapında projeksiyona sahip bağımsız, kar amacı gütmeyen bir standardizasyon kuruluşudur. ETSI, 1988 yılında CEPT tarafından oluşturulmuştur ve resmi olarak Avrupa Komisyonu tarafından tanınmaktadır.

ETSI, Avrupa'daki Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin (Information and Communicaitons Technology - ICT) standardizasyonundan resmi olarak sorumludur. Bu teknolojiler arasında telekomünikasyon, yayıncılık, akıllı ulaşım ve tıbbi elektronik gibi alanlar bulunmaktadır. Bu birliğin bünyesinde ağ operatörleri, hükümet ve kamu kurumları, hizmet sağlayıcılar ve araştırma kuruluşları dahil olmak üzere dünya çapında 65 ülke ve 5 kıtadan gelen toplam 900'den fazla üye bulunmaktadır.[53]

[52]" European Conference Of Postal And Telecommunications Administrations", https://www.cept.org/cept/ (11.01.2021)
[53] "About ETSI", https://www.etsi.org/about (12.01.2021)

1.9.4 Standartlar

1.9.4.1 3GPP Standartları

Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi (The 3rd Generation Partnership Project – 3GPP), ITU tarafından oluşturulan IMT-2000 projesi kapsamında küresel boyutta uygulanabilir üçüncü nesil (3G) cep telefonu sistemi belirlemek amacıyla telekomünikasyon birlikleri arasında kurulan bir organizasyondur.[54]



Şekil 1.18 3GPP organizasyonunda yer alan ortaklar [55]

Bu organizasyonun çatısı altında yer alan gruplar şunlardır[56]:

- Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (The European Telecommunications Standards Institute – ETSI),
- Radyo Endüstrileri ve İşletmeleri Birliği (The Association of Radio Industries and Businesses - ARIB) – Japonya,
- Telekomünikasyon Teknolojisi Komitesi (Telecommunication Technology Committee - TTC) – Japonya,
- Çin İletişim Standartları Birliği (China Communications Standards Association - CCSA) – Çin,

[54] "Partners", https://www.3gpp.org/about-3gpp/partners (27.01.2021)
[55] A.g.k.
[56] A.g.k.

- Telekomünikasyon Endüstrisi Çözümleri Birliği (The Alliance for Telecommunications Industry Solutions - ATIS) – ABD,
- Telekomünikasyon Teknolojileri Birliği (Telecommunications Technology Association - TTA) – Kore,
- Telekomünikasyon Standartları Geliştirme Topluluğu (Telecommunications Standards Development Society - TSDSI) – Hindistan

3GPP tanımlaması, gelişmiş evrensel mobil iletişim sistemi (GSM) özelliklerine dayanmaktadır ve Aralık 1998'de kurulmuştur. Bu tarihten günümüze dek 3GPP standartları sürüm olarak yapılandırılmış ve duyurulmuştur. Her sürüm birçok revizyondan geçmiş yüzlerce bağımsız standarttan meydana gelmektedir. Bu standartlar radyo, çekirdek ağ ve hizmet mimarisini kapsamaktadır. 3GPP tarafından yapılandırılan ve yapılandırılmakta olan standartlar aşağıda belirtilmiştir.[57]

- Sürüm 98 (1998): 3G öncesi GSM ağlarını belirtir. 1998 yılında duyurulmuştur.
- Sürüm 99 (2000): CDMA erişim modunu içeren ilk UMTS 3G ağlarını ifade etmektedir. 2000 yılında duyurulmuştur.
- Sürüm 4 (2001): Başlangıçta Sürüm 2000 olarak adlandırılmıştır. Sürüm 99'a çekirdek ağı da dahil olmak üzere birtakım özellikler eklenmiştir.
- Sürüm 5 (2002): Çekirdek ağda eş zamanlı olmayan aktarım modu yerine IP tabanlı aktarım tekniği kullanılan HSDPA standardı tanıtılmıştır.
- Sürüm 6 (2004): Kablosuz LAN ağlarıyla entegre operasyonlar HSUPA standardı ile hücresel veri trafiği üzerinden bas-konuş gibi geliştirmeler eklenmiştir.
- Sürüm 7 (2007): Gecikme süresinin azaltılması, servis kalitesinde iyileştirme çalışmaları ve VoIP gibi gerçek zamanlı uygulamaların geliştirilmesi üzerine odaklanılmıştır.
- Sürüm 8 (2008): LTE, OFDMA, MIMO ve çift hücreli HSDPA gibi standartlar tanıtılmıştır.

[57] "Releases", https://www.3gpp.org/specifications/67-releases (27.01.2021)

- Sürüm 9 (2009): MIMO teknolojisi ile WiMAX / LTE / UMTS standartlarının birlikte işlerliği üzerinde çalışmalar yapılmıştır.
- Sürüm 10 (2011): Modern LTE (LTE-Advanced) tanıtılmıştır.
- Sürüm 11 (2012): Koordineli çoklu nokta (CoMP), Heterojen Ağlar (HetNet), gelişmiş IP ara bağlantılı servisler geliştirilmiştir.
- Sürüm 12 (2015): LTE spektrumu üzerinden multimedya içeriğinin iletilmesinin sağlayan eMBMS mobil kablosuz teknolojisi, taşıyıcı birleştirme (Carrier Aggregation), makineler arası haberleşme (D2D), geniş boyutlu MIMO (massive MIMO) tanıtılmıştır.
- Sürüm 13 (2016): Akıllı anten teknolojisi olarak da bilinen Hüzmeleme (Beamforming) teknolojisi ve iç mekan konumlandırma teknolojisi (Indoor positioning) geliştirilmiştir.
- Sürüm 14 (2017): "5G'ye giden yolda temel unsurlar"
- Sürüm 15 (2018): "5G birinci aşama temel özellikleri"
- Sürüm 16 (2020): "5G ikinci aşama temel özellikleri"
- Sürüm 17: 2021 yılı içerisinde yayınlanması beklenmektedir.

3GPP standartlarında geliştirilen her bir sürümün kendinden önceki sürümleri güncellediği bilinmelidir. Öyle ki GSM standartları dahi, çeşitli 3GPP sürümleri ile güncellenmektedir. Ayrıca 3GPP standartları ve teknik özellikleri, hücresel/mobil haberleşme sistemlerini şebeke yapısından ücretlendirmeye kadar birçok yönden kapsamaktadır.

1.9.4.2 3GPP2 Standartları

Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi 2 (3GPP2), ITU'nun IMT-2000 projesi kapsamında küresel olarak uygulanabilir bir üçüncü nesil (3G) cep telefonu sistemi özelleştirmesi yapmak için telekomünikasyon kurumları arasındaki iş birliğidir. Pratikte 3GPP2, önceki 2G CDMA teknolojisine dayanan 3G standartları seti olan CDMA2000 için kurulmuş bir standardizasyon grubudur. Katılımcılar; ARIB, TTC,

CCSA, TTA ve Telekomünikasyon Endüstrileri Birliği (Telecommonications Industry Association - TIA)'dir.[58]

3GPP2 projesi teknik tanımlama gruplarını (Technical Specification Groups - TSGs) bünyesinde barındırır. Her bir grup yılda dört defa çeşitli toplantılar düzenleyerek teknik şartnameler ve raporlar hazırlar. Bu raporlar kamuya ücretsiz olarak sunulmakta ve 3GPP2 standartlarına uygun cihaz ve materyallerin üretilmesi teşvik edilmektedir.[59] 3GPP2, başka bir standardizasyon birliği olan 3GPP ile karıştırılmamalıdır. 3GPP, 3G tabanlı GSM şebekesi olan UMTS yapısını temel alırken, 3GPP2 yine bir 3G standardı olan CDMA2000'i temel almaktadır.

[58] "About 3GPP2", https://www.3gpp2.org/Public_html/Misc/AboutHome.cfm (23.02.2021)
[59] A.g.k.

İKİNCİ BÖLÜM

MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Son yıllarda telekomünikasyon alanında büyük gelişmeler yaşanmış ve bu alan hızla büyüyen bir endüstri halini almıştır. Mobil haberleşme teknolojileri, bu endüstri dalında en büyük gelişmelerin yaşandığı sektörlerden biri olmuştur. Yaşanan bu gelişmelerin sebepleri arasında;

- Yeni nesil haberleşme sistemlerinin ortaya çıkmasıyla hücresel haberleşme sistemlerindeki gelişmeler,
- Mobil iletişim ihtiyacının giderek artması,
- Mobil abone sayısı ve veri trafiğinde yaşanan artışlar,
- Devletlerin bu noktada etkin politika ve düzenlemelerle mobil hizmetleri desteklemesiyle, mobil hizmet sağlayıcıları arasında yaşanan rekabet ve altyapı yatırımları,
- Mobil ve hücresel haberleşmenin hareketliliğe (mobilite) olanak sağlaması ve düşük maliyetli olması,
- Son yıllarda hayat standartlarının gelişmesi ile haberleşmeye ek olarak multimedya, çevrimiçi oyun ve yüksek kaliteli video akışı gibi farklı taleplerin doğması,
- Toplumsal gelişmeler ışığında mobil iletişimin ihtiyaçlara göre evrilmesiyle; bankacılık, eğitim ve sağlık gibi hizmetlerin mobil iletişime dahil olması olarak gösterilebilir.

Yukarıda değinilen sebeplerden dolayı mobil şebekelerde ağ hızı ve kalitesi sürekli artmış ve günümüzdeki en modern halini almıştır. Modern mobil haberleşme sistemlerini detaylıca incelemeden önce mobil kablosuz iletişimin geçmişini kısaca gözden geçirmek günümüzdeki gelişmelere ışık tutacaktır.

2.1 MOBİL HABERLEŞME VE TARİHÇESİ

Haberleşme mühendisliği alanında "mobil" kavramı, iletişim sırasında hareket ettirilebilen ve diğer uçla kablosuz bir bağlantıya sahip bir radyo terminalini belirtmek için kullanılmaktadır.[60] Mobil haberleşme, herhangi bir fiziksel bağlantı (tel veya kablo) olmaksızın farklı lokasyonlarda yer alan hareketli kişi veya cihazların birbirleri ile iletişim kurmalarını sağlayan bir teknolojik sistemdir. Modern çağda insanlar haberleşmek için telgraf, faks, e-mail, sabit hatlı telefon, cep telefonu gibi çeşitli iletişim araçlarını kullanmışlardır.

Günümüzde mobil haberleşme, her yerde ve her zaman kullanılabilirliği sayesinde insanlar arasında en bilinen ve en yaygın kullanılan haberleşme sistemi haline gelmiştir. Bu teknolojik süreç, telsiz sistemlerinin (two-way radio systems) kullanılması ile başlamış ve içinde birçok yeniliği barındıran beşinci nesil haberleşme (5G) sistemlerine kadar uzanmıştır.[61]

Yaklaşık bir buçuk asır önce mobil telsizin icadıyla, haberleşme alanında yeni bir sürece adım atılmıştır. Bu teknolojik süreç ile bilgi aktarım hızı, insanın hareket hızından ışık hızına doğru yol almaya başlamıştır. 1857 yılında İskoç Matematikçi James Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaların ışık hızında yayılımını öngören bir çift denklem üretmiştir. 1899'da İtalyan bilim adamı Guglielmo Marconi tarafından New York limanındaki bir gemiden Highlands New Jersey'deki TwinLights yerleşkesine radyo telgraf aktarımıyla mobil haberleşme sağlanmıştır. Ardından Marconi, üç yıl içinde gerçekleştirdiği bir radyo yayınıyla Atlantik'i geçmeyi başarmıştır. 1905'te ise analog ses iletimi askeri uygulamalarda kullanılmıştır.[62]

[60]Abhijit Mitra, *Mobile Communication: The Basic Concepts,* Breakthrough, India, 2006,s.18.
[61]Ghufran Al-Shirdah, Maytham Safar, Khaled Mahdi, *Mobile Communication Networks,* Kuwait University*,* Kuwait City*,* 2014, s.1-2.
[62]Al-Shirdah, Safar ve Mahdi, *Mobile Communication Networks,* s.2.

Başlangıçta kablolu iletimle gerçekleştirilen internet ve telefon hizmetleri, yaşanan teknolojik gelişmelerle hızlı bir dönüşüme girmiş ve yerini kablosuz haberleşmeye bırakmaya başlamıştır. Birinci nesil haberleşme sistemlerinden (1st Generation - 1G) başlayan ve günümüzün modern teknolojisi olacağı düşünülen beşinci nesil haberleşme sistemlerine (5th Generation - 5G) uzanan bu evrimde, mobil kablosuz haberleşme ağlarının dönüşümü incelenecektir. Ayrıca bu gelişim safhalarını oluşturan sistemlerin sahip oldukları avantaj ve dezavantajları, haberleşme teknolojileri için taşıdıkları önem çerçevesinde ele alınacaktır.

2.2 BİRİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (1st GENERATION - 1G)

1G mobil haberleşme sistemleri 1970'lerin sonuna doğru ortaya çıkmış, 1980'li yılların başında uygulanmaya ve yayılmaya başlamıştır. Bu teknoloji, frekans modülasyonu (FM) ile frekans bölmeli çoklama erişimi (Frequency Division Multiple Access - FDMA) iletim teknolojisini kullanan ve 30 kHz bant genişliği ile 2.4 kbit/sn'ye kadar veri hızında sesli iletişim için tasarlanmış temel bir analog haberleşme sistemidir.[63]

Ancak 1G'nin;

- Analog modülasyon tekniğinin kullanılması sebebiyle düşük kaliteli ve şifresiz bir güvenlik sistemine sahip olması,
- FDMA tekniğinin kullanılmasından dolayı sınırlı abone sayısına olanak sağlaması,
- Baz istasyonlarının, güç radyasyonu noktasında güvensiz olması ve geçiş süreci (hand-off) özelliğinden yoksun olması,
- Ses hizmeti ile sınırlı olması,
- Birleşik bir uluslararası standarda sahip olmayan uyumsuz bir sistem olması gibi birtakım dezavantajları vardır.

[63]Mohammed H. Alsharif ve Rosdiadee Nordin, *Evolution towards fifth generation (5G) wireless Networks*, Springer Science+Business Media, New York, 2016, s.618.



Şekil 2.1 Birinci nesil haberleşmede kullanılmış olan mobil cihaz örneği[64]

1G teknolojisi ilk kez Japon Nippon Telefon ve Telgraf Şirketi (NTT) tarafından ticari olarak uygulamaya konulmuştur. Bunun yanı sıra bu teknolojinin geliştirilmesinde Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve bazı Avrupa ülkeleri öncülük etmişlerdir. Bu teknoloji; Kuzey Amerika'da Advanced Mobile Phone System (AMPS), İskandinavya'da Nordic Mobile Telephone (NMT), Birleşik Krallık'ta Total Access Communication System ve Japonya'da Japan Total Access Communications System (JTACS) olarak kullanıma sunulmuştur.[65]

2.3 İKİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (2nd GENERATION - 2G)

İkinci nesil mobil haberleşme teknolojisi veya kısaca 2G, haberleşme evriminde önemli bir adımdır. Bunun sebebi 2G'nin dijital sistem temellerine dayanmasıdır. GSM olarak da adlandırılmakta olup, 1990'lı yılların başında piyasaya sürülmüştür. Sahip olduğu birtakım özelliklerden dolayı 1G'den daha ileri bir sistem

[64]" Guide to Mobile Networks", https://www.telcoantennas.com.au/site/guide-to-mobile-networks (29.12.2020)
[65] Mohammed H. Alsharif ve Rosdiadee Nordin, "Evolution towards fifth generation (5G) wireless networks: Current trends and challenges in the deployment of milimetre wave, massive MIMO, and small cells", *Telecommunication Systems,* 64/4 (2017), s.618.

olarak bilinmektedir. 200 kHz bant genişliği ile 9.6 kbit/sn'ye kadar veri hızında sesli iletişim için tasarlanmış temel bir dijital hücresel sistemdir. Modülasyon tekniği olarak gauss minimum kaydırmalı anahtarlama (Gaussian Minimum Shift Keying - GMSK), iletim teknolojisi olarak zaman bölmeli çoğullama erişimi (Time Division Multiple Access - TDMA) kullanılmıştır. Bu teknolojinin karakteristik özellikleri şunlardır:

- Mobil iletişim hizmetlerinde birleşik bir uluslararası standardın geliştirilmesine ve dünya çapında büyümesine zemin hazırlanmıştır.
- Dijital şifreleme sayesinde ağ üzerinde gelişmiş bir güvenlik yapısının oluşturulmasına imkan sağlamıştır.
- Kullanıcılara kısa mesaj servisi (Short Message Service - SMS) olanağı sağlamıştır.
- 1G'ye kıyasla gelişmiş bir sistem kapasitesine sahiptir.
- Radyo sinyallerinin düşük güç kullanımından dolayı uzun ömürlü bir batarya yapısı vardır.[66]



Şekil 2.2 İkinci nesil haberleşmede kullanılmış olan mobil cihaz örneği[67]

[66]Mohammed H. Alsharif ve Rosdiadee Nordin, *Evolution towards fifth generation (5G) wireless Networks*, Springer Science+Business Media, New York, 2016, s.618-619.
[67]"The Evolution of Mobile Phones: 1973 to 2019", https://flauntdigital.com/blog/evolution-mobile-phones/ (02.01.2021)

2G'nin sistem yapısı üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde 2.5G olarak bilinen Genel Paket Radyo Servisi (General Packet Radio Service - GPRS) ve 2.75G olarak bilinen GSM Evrimi İçin Geliştirilmiş Veri Hızları (Enhanced Data rates for GSM Evolution - EDGE) gibi teknolojiler geliştirilmiştir.[68]

2.3.1 2.5G (GPRS) Mobil Haberleşme Sistemleri

2.5G teknolojisi, 2G ile 3G arasında geliştirilmiştir. GSM standardının "Sürüm 97" versiyonuna paket veri özelliğinin eklenmesiyle oluşturulmuştur. Bundan dolayı genel paket radyo hizmetleri anlamına gelen GPRS kısa adıyla bilinmektedir. GPRS; internet taraması, kablosuz uygulama protokolü (Wireless Application Protocol - WAP) erişimi, SMS ve çoklu ortam mesajlaşma servisi (Multimedia Messaging Service - MMS) gibi tüm veri hizmetleri için kullanılabilmektedir. GSM'nin aksine bu teknolojide paket anahtarlama kullanılır. Böylelikle şebeke, sadece verinin gönderilmesi ve alınması esnasında meşgul edilir. Bu sayede şebeke daha verimli kullanılmış, veri bağlantıları daha çabuk kurulmuş ve veri iletimi noktasında daha yüksek hızlara ulaşılmıştır.[69]

2.3.2 2.75G (EDGE) Mobil Haberleşme Sistemleri

Veri aktarım hızını artırmak ve ağ kapasitesini iyileştirmek için EDGE "Sürüm 98" versiyonuyla piyasaya sürülmüştür. Bu sistemde yeni bir modülasyon tekniği olan ve daha düşük bir kapsama alanı ile daha yüksek bir veri hızı sunan 8PSK kullanılmıştır. Bu teknikle GPRS'deki sembol başına bir bit yerine, RF modülasyonlu sembol başına üç bit ayrılmıştır. Modülasyon tekniğinde yapılan bu

[68] Mohammad Meraj ve Dr. Sumit Kumar, "Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G", *International Journal of Computer Science and Information Technologies,*6/3 (2015), s.2547.
[69]"GSM / EGPRS / EDGE Evolution / VAMOS Technology",https://www.rohde-schwarz.com/us/technologies/cellular/gsm-egprs-edge-evolution-vamos/gsm-egprs-edge-evolution-vamos/gsm-egprs-edge-evolution-vamos_55921.html(02.01.2021)

değişiklikle EDGE için etkin veri hızı üç katına çıkarılmış ve saniyede 59,2 kbit/sn'lik bir değere ulaşılmıştır. [70]

2.4 ÜÇÜNCÜ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (3rd GENERATION - 3G)

3G, 2G'nin yerini alan ve 4G'ye zemin hazırlayan üçüncü nesil mobil haberleşme teknolojisidir. 2000 MHz aralığında küresel bir frekans bandı uygulamak için ITU tarafından bir plan hazırlanmıştır. Bu planla hedeflenen, dünyadaki tüm ülkeler için her yerde bulunan tek bir kablosuz iletişim standardı geliştirmektir. Bu plana Uluslararası Mobil Telekomünikasyon-2000 (International Mobile Telecommunications 2000 - IMT-2000) standardı adı verilmiştir.[71]



Şekil 2.3 Üçüncü nesil haberleşme teknolojisine uyumlu olarak üretilmiş mobil cihaz örneği[72]

[70] "GSM / EGPRS / EDGE Evolution / VAMOS Technology".
[71] Meraj ve Kumar, "Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G", s.2547.
[72] "The Evolution of Mobile Phones: 1973 to 2019",

3G evrimiyle, kod bölmeli çoklama erişim sistemleri (Code Division Multiple Access - CDMA) de güncellenmiş ve CDMA2000 olarak isimlendirilmiştir. CDMA2000'in çeşitli türleri de IS-95 ve IS95B teknolojilerine dayanmaktadır. Kişisel dijital hücresel sistem (Personal Digital Cellular - PDC), evrensel mobil telekomünikasyon hizmeti (Universal Mobile Telecommunication Service - UMTS) olarak da bilinen geniş bant CDMA'nın (Wideband CDMA - W-CDMA) ortaya çıkmasına öncülük etmiştir. W-CDMA, GSM tabanlı olarak tasarlanmış bir yapıdır. W-CDMA ve CDMA2000, 3G'nin popüler teknolojileri olmuşlardır.[73]

3G teknolojisi, gelişmiş spektral verimlilik yoluyla daha büyük ağ kapasitesi elde ederek, ağ operatörlerinin kullanıcılara daha geniş bir yelpazede daha modern hizmetler sunmasını sağlamıştır. Sunulan bu hizmetler arasında; geniş bir kapsama alanına sahip kablosuz telefon hizmeti, görüntülü arama, geniş bant kablosuz veri hizmetleri, mobil televizyon ve küresel konumlandırma sistemi (Global Positioning System - GPS) bulunmaktadır. 3G'nin, önceki mobil sistemlere kıyasla sahip olduğu gelişmiş özelliklerden bazıları şunlardır:

- Gelişmiş ses ve video akışı,
- Birkaç kat daha yüksek veri hızı,
- Video konferans desteği,
- Daha yüksek hızlarda Web ve WAP taraması,
- İnternet üzerinden televizyon (Internet Protocol Television - IPTV) desteği.

2.4.1 UMTS

Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS), 3G teknolojilerinden biri olmakla beraber, dördüncü nesil (4G) mobil haberleşme teknolojisi olarak geliştirilen bir sistemdir. Detayları 3GPP tarafından belirtildiği üzere küresel IMT-2000 standardının bir parçasıdır. UMTS'nin en bilinen yapısında, temel erişim modu

[73] Meraj ve Kumar, "Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G", s.2548.

(yayın arayüzü) olarak W-CDMA, HSPA ve HSPA+ kullanılmaktadır. Bütün bir şebeke sistemi olarak UMTS; radyo erişim ağını, çekirdek ağını (mobil uygulama bölümü) ve USIM kartları aracılığıyla kullanıcıların kimlik doğrulama işlemini kapsayan bir yapıya sahiptir.[74]

2.4.2 W-CDMA

Geniş bant CDMA (Wideband CDMA – W-CDMA) 3G mobil telekomünikasyon ağlarında bulunan bir erişim modudur. Japonya tarafından kullanıma sunulan NTT DoCoMo FOMA hizmetinin temelidir. UMTS sistem yapısının en yaygın kullanılan türü olmakla beraber zaman zaman UMTS'nin eş anlamlısı olarak kullanılabilmektedir. Veri transferinde daha yüksek hızlara ulaşmak ve daha fazla kullanıcıyı desteklemek için zaman bölmeli çoklama erişimi (TDMA) yerine DS-CDMA (Direct Sequence Code Division Multiple Access) kanal erişim yöntemi ile zaman bölmeli dubleksleme (TDD) yöntemi kullanılmıştır. GSM'ye kıyasla W-CDMA'da veri hızları, ileri bağlantıda (downlink) 384 kbit/sn'ye, geri bağlantıda (uplink) 128 kbit/sn'ye kadar artırılmış, ayrıca gecikme süresi de azaltılarak son kullanıcı deneyimi iyileştirilmiştir.[75]

2.4.3 Yüksek Hızlı Paket İndirme Erişimi (High Speed Downlink Packet Access - HSDPA)

HSDPA, UMTS tabanlı 3G şebekeleri için daha yüksek hızda veri aktarımına imkan vererek yumuşak bir evrimsel dönüşümü sağlayan ve 3.5G olarak da adlandırılan bir mobil telefon protokolüdür. Bu protokol, 5 MHz bant genişliği üzerinden 8-10 Mbit/sn'ye kadar veri iletimine olanak veren paket tabanlı bir veri hizmetidir. HSDPA hizmeti, uyarlanabilir modülasyon ve kodlama (Adaptive Modulation and Coding - AMC), çoklu-giriş çoklu-çıkış (Multiple-Input Multiple-

[74] Suraj Indiver, "A History and Development in Mobile Communication", *Imperial Journal of Interdisciplinary Research,* 3/2 (2017), s.425.
[75] Václav ŽALUD, "Wireless Cellular Mobile Communications", *Radioengineering,* 11/4 (2002),s.4.

Output - MIMO), hibrit otomatik istek (Hybrid Automatic Request - HARQ) ve gelişmiş alıcı tasarımı gibi yenilikleri içinde barındırır.[76]

2.4.4 Yüksek Hızlı Paket Çıkış Erişimi (High Speed Uplink Packet Access - HSUPA)

HSUPA veya diğer bir ifadeyle 3.75G haberleşme sistemi, 3G kablosuz mobil hizmetlerin ötesinde bir teknolojiyi ifade etmektedir. HSUPA mobil telekomünikasyon teknolojisi, HSDPA ile doğrudan ilişkilidir ve birbirlerini tamamlar bir yapıya sahiptirler. Bu teknoloji ile daha yüksek ve simetrik veri hızlarıyla kişiden kişiye ileri seviyelerde veri uygulamalarının gelişmesi sağlanmıştır. Bu uygulamalara örnek olarak, mobil e-posta ve kişiler arası gerçek zamanlı oyun oynama verilebilir. Kullanıcı bazlı birçok uygulamanın yanı sıra geleneksel iş uygulamaları da bu teknolojiden olumlu etkilenen alanlardan bir tanesi olmuştur. HSUPA başlangıçta UMTS/WCDMA uplink hızını 1.4 Mbit/sn'ye, sonrasında geliştirilen sürümlerle beraber 5.8 Mbit/sn'ye kadar artmıştır.[77]

2.4.5 Gelişmiş Yüksek Hızlı Paket Erişimi (Evolved High Speed Packet Access - HSPA+)

Gelişmiş HSPA (HSPA+), 3GPP standardında "sürüm7" olarak tanımlanan kablosuz geniş bant hizmet tipidir ve önceki 3G sürümlerine göre 3-5 kat daha hızlı veri transferi imkanı sağlamaktadır. Ayrıca güçlü bir altyapı ve cihaz ekosistemine sahip bir teknolojidir.[78] Gelişmiş HSPA sisteminde, MIMO teknolojileri ile 64QAM modülasyon tekniğinin kullanılmasıyla, teorik olarak 42 Mbit/sn downlink hızı ve 22 Mbit/sn uplink hızına ulaşılması sağlanmıştır. HSPA sürümleri arasında yapılan karşılaştırma Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

---

[76] Indiver, "A History and Development in Mobile Communication" s.426.
[77] A.g.m.
[78]" HSPA+"https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2012/03/28062010175243.pdf (15.01.2020)

HSPA Sürümü	HSDPA (3.5G)	HSUPA (3.75G)	HSPA+ (3.75G+)
Erişim Teknolojisi	W-CDMA	W-CDMA	W-CDMA
Modülasyon Tipi	16QAM	64QAM	64QAM + MIMO
Veri Hızı	3.5 Mbit/s	7.2 Mbit/s	28.8 Mbit/s

Şekil 2.4 HSPA sürümleri ve teknik özellikleri[79]

2.5 DÖRDÜNCÜ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (4th GENERATION - 4G)

4G, dördüncü nesil mobil hücresel şebekeler olarak tanımlanmaktadır. ITU tarafından tanımlanan ve 3G'nin yerini alan Gelişmiş Uluslararası Mobil Telekomünikasyon (International Mobile Telecommunication Advanced – IMT Advanced) yapısının temelinde oluşturulan bir sistemdir. Popüler olarak "Mobile multimedia (mobil multimedya), Any-where (herhangi bir yerde), Global mobility solutions over (küresel mobilite çözümleri), Integrated wireless and Customized services (entegre kablosuz ve özelleştirilmiş hizmetler)" in kısaltması olan MAGIC olarak bilinmektedir. ITU'ya göre bir 4G şebekesinde, yüksek mobilite (high mobility) için 100 Mbit/sn ve düşük mobilite (low mobility) için 1 Gbit/sn hızında veri transferi yapabilecek bir mobil cihaza gereksinim vardır. 4G'ye geçişte temel beklenti, uçtan uca internet protokolü üzerinden yüksek ses ve video akışının sağlanması olmuştur. [80]

4G haberleşme sistemleri, bir önceki mobil teknoloji olan 3G'nin daha fazla bant genişliği ve hizmete sahip genişletilmiş bir sürümüdür. Bu sürümle 3G'de performans ve verim noktasında yaşanılan birtakım sorunlar çözülmeye çalışılmıştır.

[79] "Comparison Between HSPA Family",https://slideplayer.com/slide/15839649/ (15.01.2021)
[80] X. Joshphin Jasaline Anitha, 4G Mobile Communications - Emerging Technologies, International Journal of Multidisciplinary Approach and Studies, India, 2015, s.109.

Örneğin; 3G'de GPRS, EDGE, WAP, Wi-Max ve Wi-Fi gibi teknolojilerin yardımıyla cep telefonu üzerinden internete erişim sağlanabilmekteydi. Bu teknolojilerden herhangi biriyle internete erişim sırasında, farklı şebekeler arasında birlikte çalışabilirlik (inter-operability) noktasında birtakım problemler var olmuştur. Birlikte çalışabilirlik, farklı bilgisayarlı ürünlerin veya sistemlerin, kısıtlama olmaksızın uygulama veya erişimde birbirine kolayca bağlanma ve bilgi alışverişi yapma yeteneğini ifade eder. Ancak 4G teknolojisi kullanılarak bir yerden başka bir yere giderken bile yukarıda belirtilen teknolojilerden herhangi biriyle şebekeye erişim kolaylıkla sağlanabilmektedir.

4G şebekelerinde, 3G'de kullanılan CDMA ve IS-95 kombinasyonlu hibrit teknoloji yerine, yeni bir erişim standardı olan Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (Orthogonal Frequency Division Multiple Access – OFDMA) kullanılmıştır. OFDMA'da konsept yine çoklu erişim bölmeleridir ancak bu sistem TDMA gibi zaman bölmeli ya da CDMA gibi kod bölmeli bir yapıya sahip değildir. En temel şekliyle frekans alanını eşitleme işlemi olarak bilinmektedir.[81]

2.5.1 4G Tarafından Sağlanan Temel Özellikler

4G'nin kullanıcılar tarafından ilgi ile karşılanan temel özellikleri; uygulamalar noktasında uyarlanabilirlik, yüksek dinamizmli kullanıcı trafiği, erişim modları ve hizmet kalitesidir. Ayrıca 4G'nin;[82]

- Etkileşimli medya, ses ve video akışı ile oyun, internet ve diğer geniş bant hizmetleri desteklemesi,
- IP tabanlı bir mobil hizmet olması,
- Yüksek hız, yüksek kapasite ile veri (bit) başına düşük maliyetli olması,
- Bağlantı sırasında fazla veri trafiğinde ortaya çıkan ve hizmet kalitesinin düşmesine sebep olan ağ tıkanıklığından koruması,

[81] Meraj ve Kumar, "Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G", s.2548.
[82] A.g.k., s.2549.

- 4G sistemlerinin IP tabanlı olmasından dolayı birden çok protokol arasında sorunsuz ve kesintisiz ağ bağlantısı sağlaması,
- Diğer analog kablosuz teknolojilerle birlikte önceden var olan 3G sistemlerinin yerini alacak bir altyapıya sahip olması gibi birtakım temel nitelikleri bulunmaktadır.

2.5.2 4G Mobil Haberleşme Sistemlerinin Temel Teknik Özellikleri

4G mobil şebekeleri tarafından sağlanan temel teknik özellikler şu şekilde ifade edilebilir:

- **Daha hızlı iletişim hızı, daha geniş ağ yelpazesi:** 4G'nin en temel özelliklerinden bir tanesi iletişim hızı noktasında 3G haberleşmesinden daha hızlı bir yapıya sahip olmasıdır. Bilindiği üzere birinci nesil mobil iletişim sistemlerinde analog haberleşme teknolojisi kullanılarak yalnızca ses iletimi sağlanmıştır. İkinci nesil mobil haberleşme sistemlerinden itibaren sahip olduğu birtakım avantajlardan dolayı dijital haberleşme sistemleri ön plana çıkmış ve veri iletim hızı 9.6 - 32 kbit/sn'ye ulaşmıştır. Üçüncü nesil mobil haberleşme sistemleriyle bu hız 2 Mbit/sn'ye yükselmiş, 4G sistemleri ile bu değer teorik olarak 100-150 Mbit/sn olmuştur. Bu yüksek hız değerlerine ulaşmak için 4G bant genişliğinin teknik gereksinimlerini sağlamak amacıyla 3G ağ temellerinde yükseltme ve yeniden oluşturma işlemleri yapılmıştır. Bu gelişmeler ışığında 4G bant genişliği, W-CDMA yapısında bir 3G bant genişliğinin yaklaşık 20 katına eş değer olarak 100 MHz kapasitesine çıkmıştır.[83]
- **Daha esnek haberleşme ve akıllı mobil cihazlar:** 4G teknolojisiyle internete her yerden her zaman erişim sağlanabilir ve kullanıcılara 150 Mbit/sn hızına kadar iletişim hizmeti verilebilmektedir. Bunun yanı sıra video konferans, konumlandırma, zamanlama, veri toplama ve uzaktan kumanda gibi entegre işlevler de sunulabilmektedir. Ayrıca, kullanıcılar 4G ağ

[83] Dehou Liang ve Yang Zhang, "Study on the Technical Characteristics and Development Direction of 4G Communication" Yüksek Lisans Tezi, Beijing Information Technology College, 2015, s.57.

çeşitliliğinin farkına varmak ve birden çok sektör ile birçok sistem arasında iletişim köprüsü oluşturmak için çeşitli elektronik cihazlarını 4G sistemine bağlayabilmektedir. Bu haberleşme sistemi herhangi bir yerde ve her zaman iletişim kurabilmeyi ve çevrimiçi gerçek zamanlı iletişim kurmak için verileri, ses ve görüntüleri çift yönlü olarak iletebilmeyi sağlamaktadır. Ek olarak, akıllı 4G mobil cihazlarla; mobil TV, canlı sekreter, mobil para ve e-ticaret gibi daha önce hayal edilemeyen birçok işlev gerçekleştirilebilir hale gelmiştir.[84]

- **Daha fazla uyumluluk ve daha yüksek kaliteli multimedya iletişimi:** 4G sistemleri; televizyon yayıncılığı, mobil haberleşme, telsiz haberleşmesi ve uydu sistemleri gibi farklı iletişim modlarını tek bir terminalde birleştirebilmektedir. 4G yalnızca net bir ses kalitesi sağlamakla kalmamakta, ayrıca yüksek çözünürlüklü görüntüler ve diğer multimedya aktarımlarını da mümkün kılmaktadır. Üçüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinde çeşitli multimedya iletişimi gerçekleştirilebilmişse de, 4G sistemleri; kapsama alanı, iletişim kalitesi ve maliyet performansı üzerinde daha büyük avantajları bulunmaktadır. Bununla birlikte, yüksek hız ve yüksek çözünürlükte büyük miktarda verinin multimedya hizmeti gereksinimlerini karşılayabilecek bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı, 4G ve sonrasında geliştirilecek olan iletişim sistemleri "multimedya mobil haberleşme" olarak da adlandırılabilmektedir.[85]

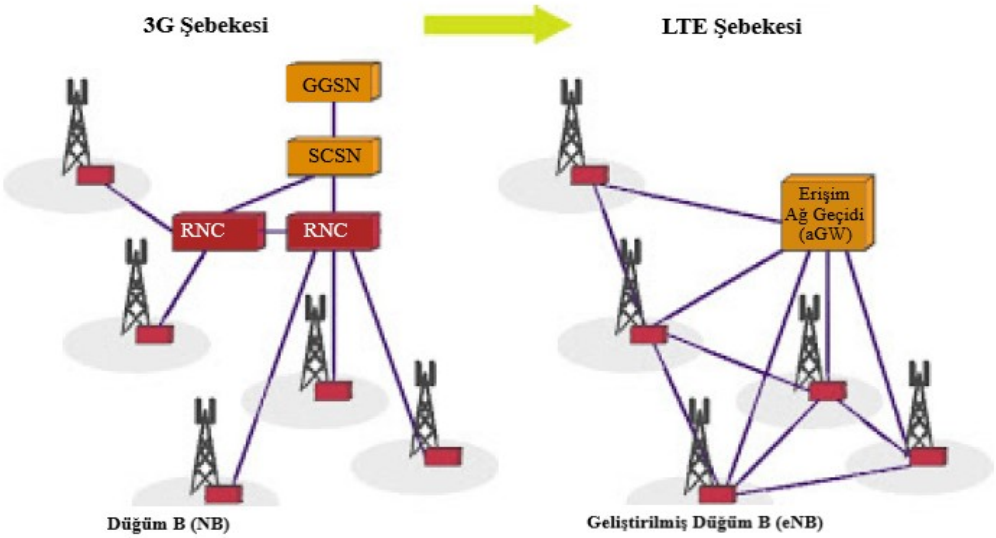
2.5.3 4G Şebeke Standartları

Uzun vadeli evrim (Long Term Evolution – LTE), Modern-LTE (LTE-Advanced) ve Ultra Mobil Geniş Bant (Ultra Mobile Broadband - UMB) gibi 4G gereksinimlerine uyan, farklı hücresel sağlayıcılar tarafından da kullanılan birden fazla 4G mobil teknoloji standardı vardır.

[84] Liang ve Zhang, "Study on", s.58.
[85] A.g.t., s.58.

2.5.3.1 LTE

LTE, UMTS hücresel teknolojisinin geliştirilmiş bir versiyonu olarak, daha düşük gecikme ile birlikte daha yüksek veri hızlarına ulaşıldığı bir mobil haberleşme sistemidir. 3G'de kullanılan UMTS mimarisi Telsiz Ağı Denetleyicisinden (Radio Network Controller - RNC) oluşmaktadır. RNC; düğüm noktalarını (NB) kontrol eder, kaynak yönetimi gerçekleştirir ve hizmet veren GPRS destek düğümüne (SGSN) bağlantı sağlar. LTE'de hem düğüm B hem de RNC tarafından yapılan işlemler Şekil 2.5'te görüleceği üzere geliştirilmiş düğüm noktası (eNB) tarafından gerçekleştirilir. Ayrıca LTE ile birlikte önceki hücresel sistemlere kıyasla, OFDMA ve SC-FDMA gibi bir dizi yeni teknoloji tanıtılmıştır.[86]



Şekil 2.5 3G'de kullanılan UMTS teknolojisinden 4G'de kullanılan LTE'ye dönüşüm[87]

2.5.3.2 Modern LTE (LTE Advanced – LTE-A)

Modern LTE (4.5G) sistemlerinde temel odak noktası daha yüksek bir kapasite imkanı sunmaktır. LTE'yi, 3GPP Sürüm 10'da yayınlandığı şekliyle modern LTE'ye dönüştürmenin ana sebepleri uygun bir maliyetle daha yüksek veri hızlarına

[86] Telecom Regulatory Authority of India, *Evolution of Mobile Communications,* Technology Digest, 2018, s.2.
[87] A.g.k.

ulaşmak ve aynı zamanda ITU tarafından belirlenen Gelişmiş-IMT (IMT-Advanced) gereksinimlerini tamamen yerine getirmektir[88]. Bu gereksinimler arasında;

- Veri transfer hızının arttırılması ve 3 Gbit/sn downlink, 1,5 Gbit/sn uplink hızı değerlerine ulaşılması,
- Yüksek spektral verimliliğin sağlanması ve Sürüm 8'de 16 bps/Hz olan verimliliğin 30 bps/Hz'ye çıkarılması,
- Aynı anda aktif olan abone sayısında artış sağlanması,
- Hücre kenarlarında performans iyileştirmesinin yapılması yer almaktadır.



Şekil 2.6 Dördüncü nesil haberleşme teknolojisinde LTE-A (4.5G) uyumlu mobil cihaz örneği[89]

Modern LTE ile mobil haberleşme sistemlerine sunulan birtakım yeni işlevsel özellikler bulunmaktadır. Bu işlevlere; taşıyıcı birleştirme (Carrier Aggregation - CA), çoklu anten tekniklerinin gelişmiş kullanımı, koordineli çoklu nokta

[88] "LTE-Advanced", https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced (27.01.2021)
[89] "4.5G ve Cihazlar", https://www.btk.gov.tr/4-5g-ve-cihazlar (28.01.2021)

(Coordinated Multi-Point - CoMP) ve aktarım düğümleri (Relay Nodes - RN) örnek olarak verilebilir.[90]

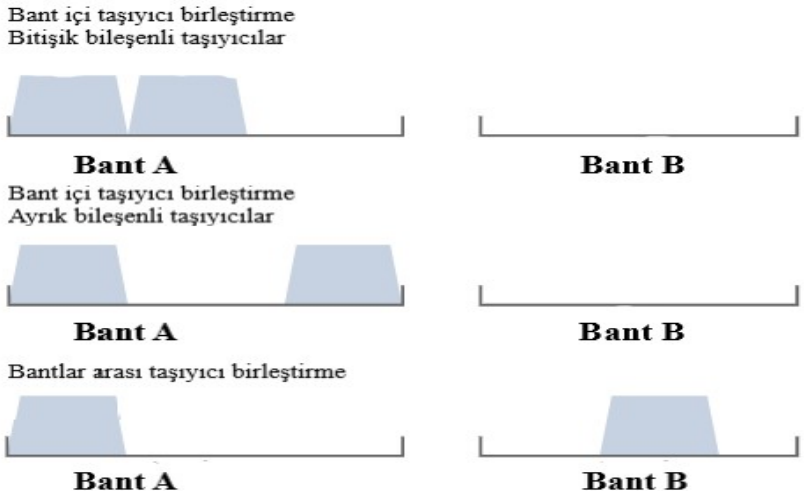
Taşıyıcı Birleştirme: Taşıyıcı birleştirme ya da kısaca CA, LTE'de bant genişliğini artırmak ve böylece çok yüksek veri transfer hızlarının elde edilmesini sağlamak amacıyla kullanılan temel tekniklerden biridir. Birden fazla taşıyıcıyı aynı veya farklı bantlarda bir araya getirerek mevcut bant genişliğini artırmak ve bu şekilde bağlantının kapasitesini artırmak mümkün hale gelmiştir. Bununla birlikte birleştirilmek istenen kanalların farklı bantlarda olması durumunda, bu kanalların çok farklı karakteristik özelliklere sahip olması muhtemel olduğundan, etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için birçok farklı özelliğin uygulanması gerekebilir.[91]

Taşıyıcı birleştirmede her bir kümelenmiş taşıyıcı, bir bileşen taşıyıcı olarak isimlendirilir. Bileşen taşıyıcının bant genişliği 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz veya 20 MHz olabilmektedir. Spektral verimlilikte yapılan iyileştirmelerle 20 MHz bant genişliğinde dahi, hedeflenen yüksek veri hızlarının sağlanması mümkün değildir. Bu veri hızlarına ulaşmanın tek yolu kullanılan genel bant genişliğini artırmaktır. Bu maksatla taşıyıcı birleştirme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde maksimum beş bileşen taşıyıcı bir araya getirilebilir. Dolayısıyla maksimum bant genişliği gelişmiş-IMT standartlarında da belirtildiği üzere 100 MHz olmaktadır. Birleştirilmiş taşıyıcıların sayısı downlink (DL) ve uplinkte (UL) farklı olabilmekle beraber UL bileşen taşıyıcılarının sayısı hiçbir zaman DL bileşen taşıyıcılarının sayısından fazla olamaz.[92]

Şekil 2.7'de görüleceği üzere LTE taşıyıcılarını birleştirmenin üç yolu bulunmaktadır. Bileşen taşıyıcıların pozisyonlarına bağlı olarak değişen bu teknikler bant içi ve bantlar arası taşıyıcı birleştirme olarak ikiye ayrılmaktadır. Bant içi

[90] Telecom Regulatory Authority of India, *Evolution of Mobile Communications,* s.2.
[91] "Carrier Aggregation explained", https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained (30.01.2021)
[92] A.g.k.

taşıyıcı birleştirmenin ise kendi içinde bitişik ve ayrık bileşenli taşıyıcılar olmak üzere iki tipi bulunmaktadır.[93]



Şekil 2.7 LTE teknolojisinde taşıyıcı birleştirme teknikleri[94]

- **Bant içi bitişik bileşenli taşıyıcı birleştirme:** Bu teknik en kolay uygulanabilir LTE taşıyıcı birleştirme biçimidir. Burada bileşen taşıyıcıları aynı kanal içerisindedir ve birbirine bitişiktir. Bu noktada, birleştirilmiş kanal genişletilmiş bir kanal olarak düşünülebilir. Bu durumda, terminal içinde yalnızca bir alıcı-verici sistemi gerekli olmakla beraber kanalların bitişik olmadığı noktalarda bundan daha fazlasına ihtiyaç duyulabilmektedir.

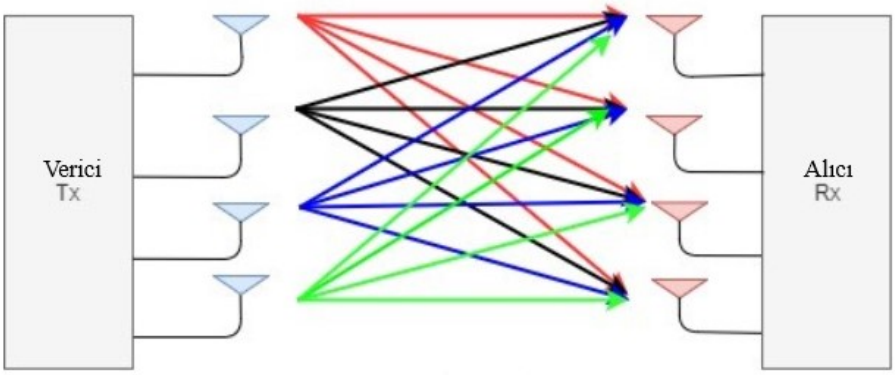
- **Bant içi ayrık bileşenli taşıyıcı birleştirme:** Bileşen taşıyıcıları aynı frekans bandında olmasına rağmen aralarında bir boşluk olması durumunda gerçekleştirilen birleştirme tekniğidir. Artık çoklu taşıyıcı sinyal, tek bir sinyal olarak değerlendirilemez ve bu nedenle iki alıcı-verici sisteme gerek duyulur.

- **Bantlar arası taşıyıcı birleştirme:** Bileşen taşıyıcılarının farklı frekans bantlarında bulunması durumunda uygulanan tekniktir. Diğer tekniklere kıyasla daha karmaşık bir yapıya sahip olup heterojen ağlara uygulanan

[93] "4G LTE CA: Carrier Aggregation", https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/4g-lte-carrier-aggregation-ca.php (30.01.2021)
[94] A.g.k.

taşıyıcı birleştirme türüdür. Birden fazla alıcı-verici siteminin kullanılmasından kaynaklı intermodülasyon ve çapraz modülasyonu azaltmak amacıyla kullanılan yapılardan dolayı birtakım karmaşıklıkları da içinde barındırmaktadır.

MIMO Teknolojisi: Çoklu giriş çoklu çıkış (Multiple Input Multiple Output) veya uzaysal çoklama (spatial multiplexing) olarak da bilinen MIMO, iki veya daha fazla farklı anten üzerinde, iki veya daha fazla farklı veri akışının hem frekans hem zamanda aynı kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmesi yoluyla toplam veri hızını artırmak amacıyla kullanılan bir tekniktir (Şekil 2.8). Belirlenen sayıda anten tarafından iletilen sinyal yine belirlenen sayıda anten tarafından alınır. Alınan sinyallerin işlenmesiyle çeşitli yönlerden performans iyileştirmesi sağlanır. Bunlar; mesafe (menzil), alınan sinyalin kalitesi ve spektrumun verimli kullanılmasıdır.[95]



Şekil 2.8 4x4 MIMO mimarisi[96]

MIMO'yu uygulamak, optimum bir performans ve menzil imkanı sağlamak için mobil cihaz ve erişim noktasının (access point) bu teknolojiyi desteklemesi gerekir. Bu teknoloji çoklu yol (multi-path) adı verilen bir radyo dalgası kullanır. Çoklu yol ile iletilen sinyal duvarlardan, tavanlardan ve diğer nesnelerden sekerek alıcı antene farklı zamanlarda ve farklı açılardan birçok kez ulaşır. Geçmişteki

[95] Anitha, 4G Mobile Communications - Emerging Technologies, s.112.
[96] "MIMO Nedir?", https://www.beyaz.net/tr/network/makaleler/mimo_nedir.html (31.01.2021)

uygulamalarda çoklu yol, enterferansa neden olmasından dolayı kablosuz sinyallerde yavaşlamaya sebep olmaktaydı. MIMO teknolojisinin kullanılmasıyla ek bir uzamsal boyuta sahip çoklu ve akıllı alıcı-verici sistemleri kullanılmıştır. Bu sayede antenlerin farklı yollardan ve farklı zamanlarda gelen veri sinyallerini birleştirebilmesi sağlanmış ve bu şekilde alıcının sinyal yakalama gücü artırılmıştır.[97]



Şekil 2.9 Birden fazla antenle MIMO teknolojisini kullanan tipik modern Wi-Fi yönlendirici (router)[98]

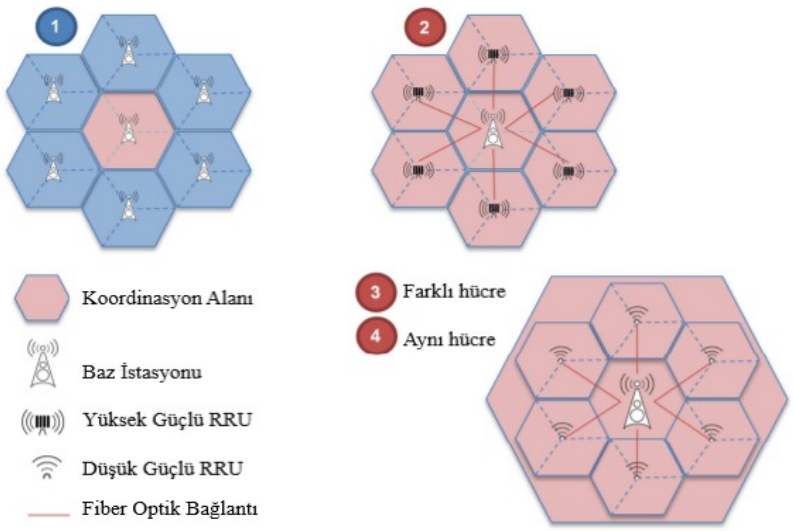
Koordineli Çoklu Nokta (CoMP): Mobil haberleşme sistemlerinde, hücre kenarlarında oluşabilen düşük sinyal performansı birçok hücresel sistemdeki temel sorunlardan biri olmuştur. Bu noktalardaki veri hızları, hücrelerin bitişik yapısından kaynaklanan enterferans sebebiyle azalmaktadır. Bu sorunu çözmek amacıyla, ortak programlama ile ortak iletimin yapılmasının yanı sıra alınan sinyallerin ortak işlenmesi tasarlanmıştır. Bu tasarım LTE-A için koordineli çoklu nokta operasyonu olarak bilinmektedir.[99]

[97]" Learn about Multiple-Input Multiple-Output" ,https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000005714/wireless.html (16.02.2021)
[98] "What is MIMO Wireless Technology", https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/what-is-mimo-multiple-input-multiple-output-wireless-technology.php (16.02.2021)
[99] "Coordinated Multi Point operation (CoMP) – R11", https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced (17.02.2021)

Koordineli çoklu nokta operasyonu, 3GPP standartlarında Sürüm 11'de sunulmuştur. Yukarıda bahsedildiği üzere bu yapının mobil haberleşme sistemlerine kazandırılmasının ana sebebi hücre kenarlarında ağ performansını iyileştirmektir. Yapılan bu iyileştirme ile bir hücrenin kenarında bulunan son kullanıcıya iki veya daha fazla baz istasyonu tarafından hizmet sağlanabilmektedir. Bu sayede;

- Birden fazla ana baz istasyonundan gerçekleştirilen ortak alım ile kullanıcı cihazında alınan gücün artırılması sağlanır.
- Özel sinyal birleştirme teknikleri kullanılarak, enterferans problemi zararlı bir etki olmaktan çıkarılır ve sinyali kuvvetlendirme noktasında yapıcı bir pozisyona getirilir.
- Özellikle ortak sinyal işlenmesi yapılarak hücre kenarlarındaki verim artırılır.
- CoMP kullanılarak aynı anda birkaç baz istasyonuna bağlantı kurulması, kaynakların daha iyi kullanılmasına ve verilerin en az bağlantı sayısına sahip baz istasyonu üzerinden aktarılmasına olanak sağlar.

Adından da anlaşılacağı gibi birden çok hücre veya uzak radyo birimlerine (Remote Radio Unit - RRU) iletim ve alım noktasında optimizasyon sağlayan CoMP teknolojisi, 3GPP standardizasyonunda dört farklı senaryoya dayandırılmaktadır



Şekil 2.10 Koordineli Çoklu Nokta (CoMP) Operasyon senaryoları[100]

[100] A. Roessler ve M. Kottkamp, "LTE- Advanced (3GPP Rel.11) Technology Introduction", White Paper, (2013), s.12.

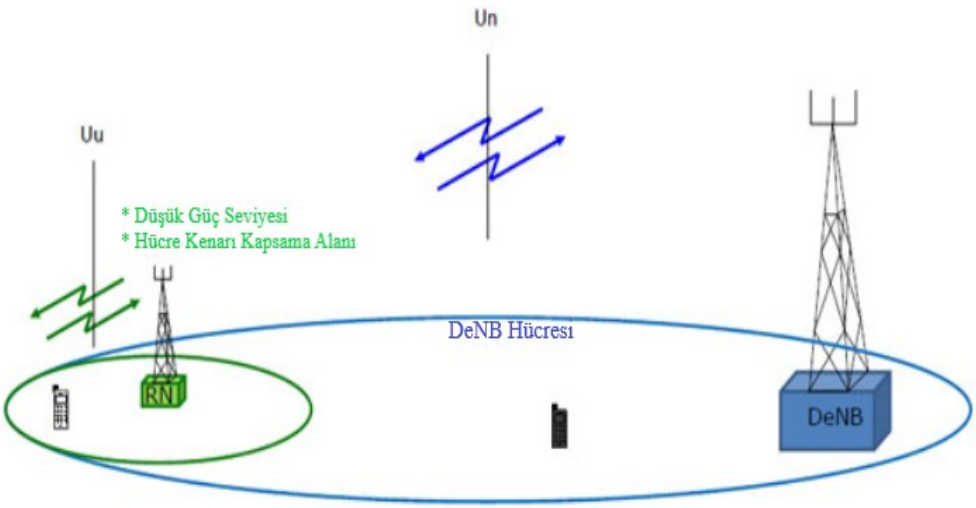
Şekil 2.10'da görüldüğü üzere homojen ağ dağıtımına odaklanan ilk iki senaryonun birincisinde birden çok sektöre hizmet veren tek bir baz istasyonu varken (senaryo 1), ikincisinde çoklu yüksek iletim gücüne sahip RRU'lar bulunmaktadır (senaryo 2). Kalan iki senaryoda ise makro veya mikro hücrelerin farklı (senaryo 3) veya aynı (senaryo 4) hücre kimlikleri kullanılarak birlikte konuşlandırıldığı heterojen şebekeler (HetNet) hedeflenmektedir.[101]

Aktarım Düğümleri (Noktaları): LTE-A aktarma teknolojisi, normalde baz istasyonları için gerekli olan tüm ana taşıyıcı özelliklerini yüklemeye gerek kalmadan ek kapsama ve performans sağlamak amacıyla sinyallerin aktarım düğümleri (RN) tarafından iletilmesini sağlayan bir tasarım şemasıdır.

LTE-A'da büyük ve küçük hücrelerin bir araya getirilerek verimli bir ağ planlamasının yapılması aktarım düğümlerinin sisteme eklenmesiyle gerçekleştirilebilmektedir. Aktarım düğümleri; hücre kenarlarında, fiber bağlantı altyapısının bulunmadığı alanlarda ve kablosuz bağlantıların ağırlıklı olduğu bölgelerde (hot-spot areas) gelişmiş kapsama ve kapasite sağlayacak olan düşük güçlü baz istasyonlarıdır. Bu düğümler, Gelişmiş UMTS Karasal Radyo Erişim Ağı (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network – E-UTRAN) arayüzünün (Uu) bir modifikasyonu (Un) vasıtasıyla dağıtıcı baz istasyonuna (DeNB) bağlanır. Dolayısıyla DeNB hücresinde veri kaynakları, doğrudan DeNB'ye bağlanan kullanıcı cihazları ve aktarım düğümleri tarafından paylaşılır. Uu ve Un'de farklı frekanslar kullanıldığında; aktarım düğümü tipi Tip 1a RN olarak, aynı frekanslar kullanıldığında ise Tip 1 RN olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.11). Şayet veri alımının Uu üzerinden ve veri iletiminin Un üzerinden yapılması durumunda (veya tam tersi durum da olabilir), sistemde kendiliğinden enterferans oluşma riski ortaya

[101] Roessler ve Kottkamp, "LTE- Advanced (3GPP Rel.11) Technology Introduction", s.11.

çıkmaktadır. Bu durum Uu ve Un arasında bir zaman paylaşımı yapılarak veya verici-alıcı sistemlerinin farklı noktalara yerleştirilmesi ile önlenebilir.[102]



Şekil 2.11 DeNB – RN arasındaki örnek bir bağlantı yapısı[103]

2.5.3.3 Ultra Mobil Geniş Bant (Ultra Mobile Broadband – UMB)

UMB, 3GPP2 standart topluluğundaki CDMA2000 teknolojilerinin geliştirilmiş sürümüdür. Bu sürüm; bağlantı adaptasyonu, baz istasyonları arasında hızlı geçiş, hızlı güç kontrolü, teknolojik sektörler arası girişim yönetimi, çoklu anten iletim teknikleri gibi gelişmiş teknolojileri kullanarak yüksek spektral verimlilik ve kısa gecikmeler için optimize edilmiş mobil geniş bant kablosuz erişim sistemleri sunmak amacıyla tasarlanmıştır. UMB başlangıçta hem FDD hem de TDD modlarını destekler biçimde tasarlanmıştı. Ancak daha sonra FDD modunun kullanılması ve geliştirilmesi üzerinde durulmuştur.[104]

LTE'ye benzer olarak UMB sistemi de yeni nesil radyo sistemi üzerinden çalışan ve 280 Mbit/sn'ye kadar veri hızlarına olanak sağlayan internet (TCP/IP) ağ

[102]" Relay Nodes", https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced (21.02.2021)
[103] A.g.k.
[104] Masout Olfad, *New Directions in Wireless Communications Research,* Boston: Springer, 2009, s.351

teknolojisi temeline dayandırılması düşünülmüştür. Bu teknoloji tasarlanırken sistemin daha verimli olması ve yerini alacağı düşünülen teknolojilerden daha geniş çaplı hizmetler sunabilmesi amaçlanmıştır.[105]

2.5.4 4G Erişim Teknolojileri

Daha önce de belirtildiği gibi 4G mobil haberleşme sistemlerinde kullanılan iki temel erişim teknolojisi bulunmaktadır. Bunlar OFDMA ve SC-FDMA'dır.

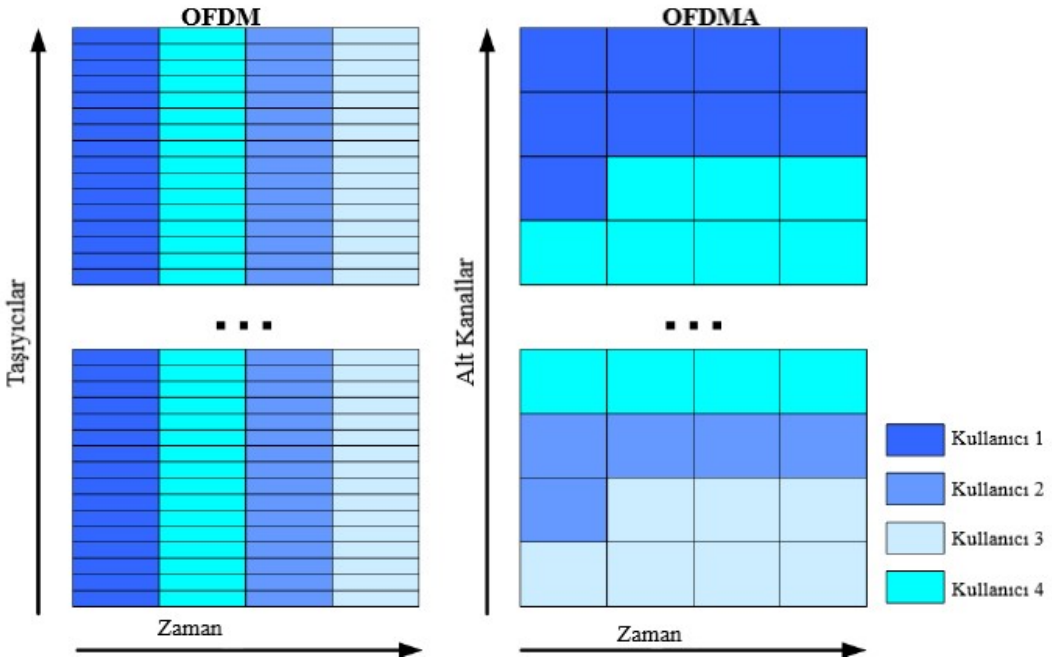
2.5.4.1 Dikey Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA)

Frekans bölmeli çoğullamada (FDM) toplam bant genişliği, birbiriyle örtüşmeyen birçok frekans bandına bölünür. Her bant ayrı bir sinyal taşımak için kullanılır. Bu şekilde, aralarında herhangi bir girişim olmaksızın bir dizi sinyali göndermek tek bir bant genişliği kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bir taşıyıcı, herhangi bir türde bilgi (ses, görüntü veya veri) sinyali ile modüle edildiğinde yan bantlar frekans aralığının her iki tarafına da yayılır. Verinin başarılı bir şekilde demodülasyonu için bir alıcının sinyali başarılı bir şekilde orijinal formatına dönüştürmesi gerekir. Ayrıca iletilen sinyallerin de etkili bir biçimde filtrelenmesi için bu sinyaller arasında koruma bandı adı verilen boşlukların bırakılması gerekmektedir. Ancak OFDMA'da durum bu şekilde değildir. Her bir taşıyıcıdan gelen yan bantlar birbiri üzerine katlansalar dahi, sinyaller yine de beklenen girişim olmadan alınabilmektedir. Çünkü taşıyıcı sinyaller birbirine dik (orthogonal) ve sayısal olarak birbirinden bağımsızdır.[106]

OFDM sistemlerinde orijinal bant genişliği birden çok alt taşıyıcıya (sub-carrier) bölünmüştür. Bu alt taşıyıcıların her biri ayrı ayrı modüle edilebilir. Tipik

[105] Hüseyin Türker, "Next Generation on Mobile Networks; 3G to 4G(LTE) Exchange Requirements and Compatibility". Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010, s.29.
[106] Telecom Regulatory Authority of India, *Evolution of Mobile Communications*, s.3.

olarak bu yapıda, aralarında taşıyıcı boşluğu (carrier spacing) bulunan yüzlerce alt taşıyıcıya sahip olunabilir. LTE teknolojisinde bu boşluk 15 kHz olmaktadır. OFDM'de yer alan çoklu alt taşıyıcılar paralel olarak iletildiğinden dolayı, her birinin daha düşük bir sembol oranıyla iletilmesi mümkündür. Bu durum mobil yayılım koşulları noktasında teknolojik sağlamlığı artırmaktadır.[107]



Şekil 2.12 OFDM ve OFDMA yapıları[108]

OFDM ile OFDMA sistemleri arasındaki en temel fark; OFDM'de zaman alanında kullanıcılara tahsis yapılırken, OFDMA'da ise hem zaman hem de frekans alanında tahsis yapılmasıdır. Bu durum frekans temelli planlamayı mümkün kıldığından dolayı LTE sistemleri için kullanışlıdır. Ayrıca OFDMA sisteminde; düşük veri iletimi ile birkaç kullanıcının eş zamanlı olarak bağlanmasına izin verirken, OFDM bir anda tek kullanıcının şebeke ile bağlantı kurmasını desteklemektedir.

[107] "OFDMA", https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/rafaelreis/ofdma_scfdma.html (26.02.2021)
[108] "OFDM and OFDMA", https://www.researchgate.net/figure/Uplink-Access-in-OFDM-and-OFDMA_fig1_267719060 (25.02.2021)

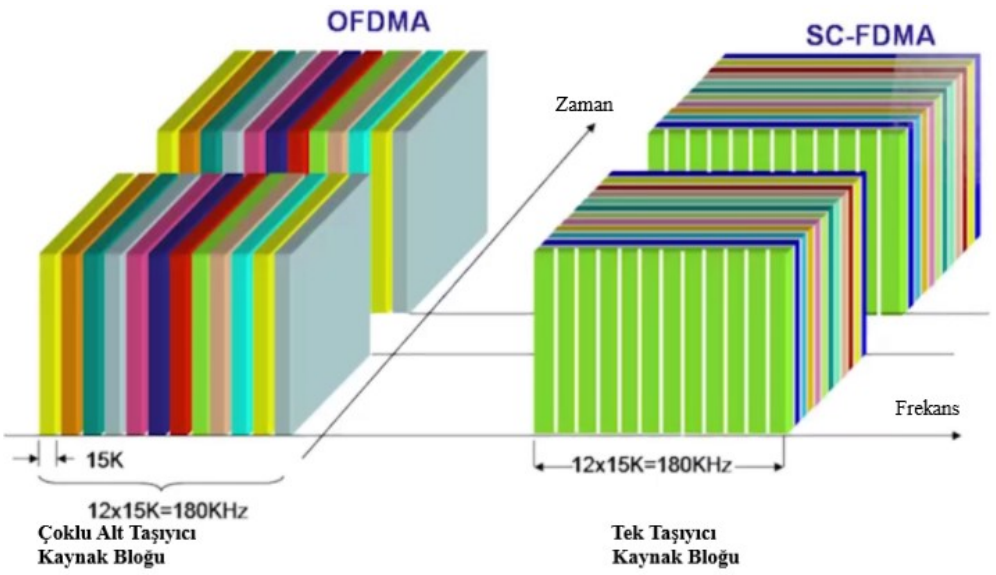
OFDMA erişim teknolojisi LTE şebekesinde downlinkte (ileri bağlantıda) kullanılmaktadır. OFDMA'nın yüksek bir tepe-ortalama güç oranı (Peak to Average Power Ratio - PAPR) sunmasından dolayı uplinkte (geri bağlantıda) kullanılması mümkün değildir. Geri bağlantıda kullanılan erişim teknolojisi tek taşıyıcılı frekans bölmeli çoklu erişim (Single Carrier FDMA – SC-FDMA) teknolojisidir. [109]

2.5.4.2 Tek Taşıyıcılı FDMA (SC-FDMA)

Bilindiği üzere OFDMA, yüksek bir PAPR değerine sahiptir. Yüksek PAPR değerine sahip olan sinyaller uzun mesafelere iletilmek için daha yüksek enerji gerektirir. Baz istasyonları yüksek enerji kaynakları sağlayacak kadar geniş kapasiteye sahip olduğundan dolayı OFDMA ileri bağlantılar (downlink) için daha uygundur. Baz istasyonlarına kıyasla sınırlı bir enerji kapasitesine sahip mobil cihazlar, yüksek güç sinyallerini uzun bir süre boyunca baz istasyonlarına aktaramazlar. Bu sebeple, LTE uplink sistemlerinde kullanılmak üzere SC-FDMA erişim teknolojisi geliştirilmiştir.[110]

SC-FDMA, OFDMA teknolojisinin bir formudur. Tüm mobil cihazları etkileyen en önemli parametrelerden biri pil ömrüdür. Pil performansı her zaman gelişmekte ise de, cihazların mümkün olduğunca az pil gücü kullanmasını sağlamak önemli kriterlerden bir tanesi olmuştur. Radyo frekansı (RF) sinyalini anten vasıtasıyla baz istasyonuna ileten RF güç amplifikatörünün mobil cihaz içindeki en yüksek güç öğesi olması sebebiyle, mümkün olduğunca verimli bir modda çalışması gerekmektedir. Bu sebeple LTE'de hibrit bir yapıya sahip olan SC-FDMA modülasyon şeması geliştirilmiştir. Bu yeni hibrit şema ile tek taşıyıcılı sistemler tarafından sunulan düşük PAPR oranı, OFDM'nin sağladığı esnek alt taşıyıcı frekans tahsisi ve çok yollu girişim esnekliği birleştirilmiştir. Bu şekilde LTE'de yüksek hızlı veri iletimi yapılması sağlanmış olur.

[109] Telecom Regulatory Authority of India , *Evolution of Mobile Communications*, s.3.
[110] A.g.k., s.3.



Şekil 2.13 OFDM ve SC-FDMA yapıları[111]

2.6 BEŞİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ (5th GENERATION – 5G)

5G, beşinci nesil mobil ağ telekomünikasyon teknolojilerini ifade etmektedir. 5G'nin teknik özellikleri ve potansiyel kullanımları üzerine araştırmalar devam ederken, bu yeni teknolojinin radyo arayüzleri ve spektrum kullanımında devrim niteliğindeki değişiklikler de dâhil olmak üzere mevcut telekomünikasyon teknolojilerinde ileriye doğru büyük bir sıçramayı temsil etmesi beklenmektedir. Mevcut eğilimler ve potansiyel kullanımların temelinde 5G şebekeleri; daha hızlı, her zaman erişilebilir, çok sayıda cihazın kontrol edilmesi noktasında daha güvenilir ve verimli olacaktır. Herkesin ve her şeyin her zaman ve her yerde birbirine bağlanacağı yeni bir teknoloji dünyası inşa edecek olan 5G'nin eğlence, sağlık, ulaşım ve enerji dahil olmak üzere çeşitli alanlarda yeni uygulamaları hayata geçireceği düşünülmektedir.

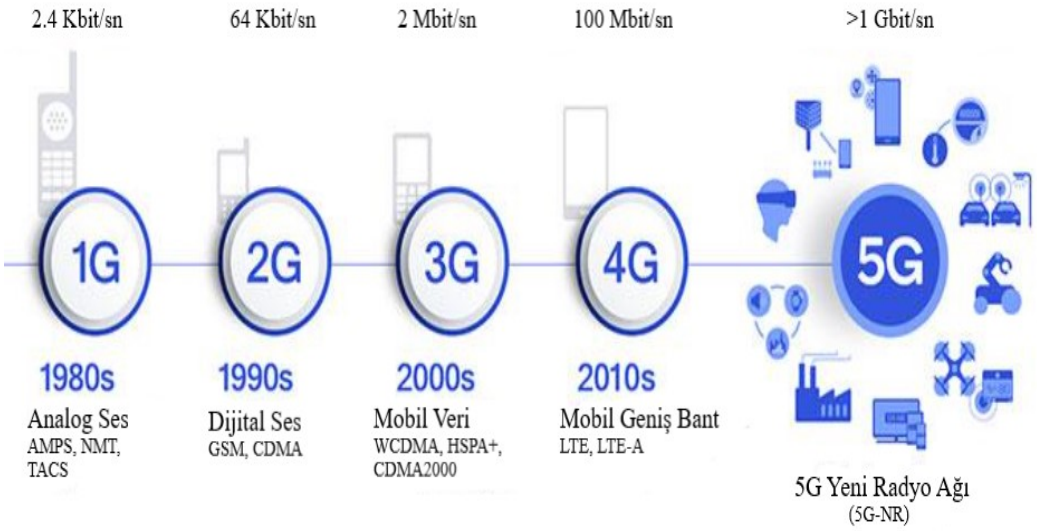
[111] "SC-FDMA", https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/rafaelreis/ofdma_scfdma.html (25.02.2021)



Şekil 2.14 SAMSUNG firması tarafından üretilen 5G uyumlu mobil cihaz[112]

İyileştirilmiş ağ performansları, gigabit seviyelerinde bir hız yapısına sahip yeni iş modelleri ve yeni hizmetler, ileri düzeyde son kullanıcı deneyimi ve gelişmiş ağ güvenliği gibi avantajlarıyla birçok sektörde dönüştürücü bir role sahip olacağından dolayı 5G sistemlerinden beklentiler oldukça yüksektir. 2G, 3G ve 4G mobil ağlarının omuzlarında duracak olan 5G ve hizmetlerinin çok önemli ekonomik kazançlar da sağlayacağı, yapılan bağımsız araştırmalar tarafından tahmin edilmektedir. 3G teknolojisine kıyasla 4G; kullanıcı veri oranlarını, spektrum kullanımını, kapasiteyi ve gecikme sürelerini iyileştirmek için tasarlanmıştır. Bu noktada 5G, mobil geniş bant teknolojilerinde bir evrim olarak nitelendirilebilir. Gelecekteki dijital dünyanın bir anahtarı olarak düşünülen bu teknoloji, tüm ekonomik sektörlerde yaşanacak dönüşüm aşamalarını ve tüketici pazar talebini destekleyecek ultra yüksek geniş bant altyapısının yeni jenerasyonu olacaktır.

[112] "5G Teknolojisi Nedir? Neler Getiriyor?", https://community.hihonor.com/tr/topicdetail/5G-Teknolojisi-Nedir-Neler-Getiriyor/topicId-17306/ (25.02.2021)



Şekil 2.15 Mobil haberleşme teknolojilerinin dönüşüm evreleri[113]

Beşinci nesil mobil geniş bant teknolojileri çok yüksek veri hızları ve azaltılmış ağ gecikmeleri de dahil olmak üzere 4G standartlarına göre önemli iyileştirmeler sağlayacaktır. Bu nedenle 5G; dünya çapında daha fazla mobil bağlantılı topluluklar, ekonomiler ve kurumları etkin kılarak, bağlantı ve trafik hacmindeki büyümeyi önemli ölçüde destekleyecektir. Bu teknoloji, *"ABD tarihindeki en büyük altyapı projesi"* olarak adlandırılmıştır. 5G'nin yapay zeka (Artificial Intelligence - AI), otonom araçlar (autonomous vehicles), nesnelerin interneti (Internet of Things - IoT), endüstriyel yazılım ve robotik gibi alanlarda kullanılmasından elde edilecek ekonomik değerin 2025 yılına kadar 2 trilyon doları aşması beklenmektedir. Daha uzun vadede ise, 5G'nin küresel ekonomik etkisinin önümüzdeki 15 yıl içinde 12 trilyon doları aşacağı tahmin edilmektedir.[114]

2.6.1 4G ile 5G Arasındaki Temel Farklılıklar

Hücresel mobil iletişim endüstrisi her on yılda bir kablosuz altyapıda büyük ilerlemeler katetmektedir. 1990'lı yıllara 2G ve 2000'li yıllara 3G sistemleri

[113] "Everything you need to know about 5G.",https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g (26.02.2021)
[114] "Here's how the US can get the best out of 5G", https://www.weforum.org/agenda/2020/02/heres-what-needs-to-change-to-make-5g-a-reality/ (28.02.2021)

hâkimken, içinde bulunduğumuz dönemde ağırlıklı olarak 4G sistemleri kullanılmaktadır. Kullanıcılar 4G ile daha önce hayal bile edilemeyecek düzeyde yeniliklerle tanışmışlardır. Günümüzün mobil kullanıcıları ise daha yüksek veri hızları ve daha güvenilir bir hizmet talep etmektedir. Veri transfer hızı, gecikme süresi, bant genişliği ve kapsama alanı gibi hususlarda önceki mobil iletişim teknolojilerine kıyasla bir devrim niteliğinde görülen 5G teknolojisinin kullanıcılar tarafından arzu edilen yüksek mobil hizmet standartlarını karşılayacağı öngörülmektedir.

5G teknolojisini, 3G ve 4G'nin yalnızca bir uzantısı olarak tanımlamak yerine, 4G, Wi-Fi, milimetrik dalga ve diğer kablosuz erişim teknolojilerini birleştiren heterojen bir ağ ekosistemi olarak nitelemek daha yerinde olacaktır. 5G; bulut altyapısını, akıllı uç hizmetlerini, sanallaştırılmış ağ çekirdeğini ve milyarlarca cihaz tarafından üretilen verileri baz alarak anlamlı sonuçlar ortaya koyan bilgi işlem modelini bir araya getirecektir. Intel'de Platform Mühendislik Grubu Başkan Yardımcısı ve Yeni Nesil ve Standartlar Genel Müdürü olarak görev yapmakta olan Asha Keddy bu durumu şu sözleriyle açıkça dile getirmiştir:[115]

> *"Beşinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (5G), bir nesil (G) haberleşme sisteminden çok daha fazlasıdır. 5G çok daha dönüştürücü yapıya sahiptir. 5G ile kullanıcı merkezli bir dünyadan, şebekenin milyonlarca cihazdan milyarlarca cihaza geçiş yapacağı, bu cihazları akıllıca birbirine bağlayacağı, bilgi ve zekanın somutlaştırılmasına öncülük edecek devasa makine tipi iletişim sistemlerinden birine geçiş yapacağız."*

Sahip olduğu bazı farklılıklar sebebiyle, 5G'yi 4G'den daha üstün ve avantajlı kılan birtakım özellikler aşağıda ifade edilmiştir:[116]

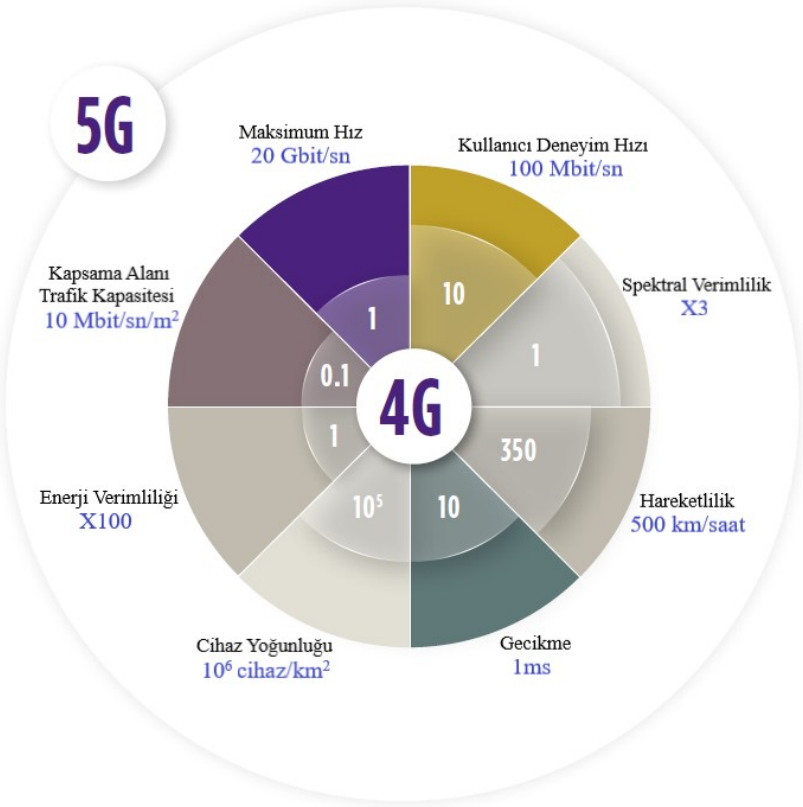
- **Yüksek Hız:** 5G ile ilgili birçok söylemde, onu 4G'den ayırmak için kullanılan en temel özelliklerden biri genellikle hızdır. Bunun sebebi, her bir hücresel neslin bir öncekinden daha hızlı olarak tasarlanmış olmasıdır.

[115] Darrell M. West, "How 5G technology enables the health internet of things", *Center for Technology Innovation at BROOKINGS*, (2016), s.2.
[116] A.g.k., s.2-3.

Mevcut 4G sistemlerinin sahip olduğu hız değerleri teorik olarak 100 Mbit/sn'dir. Ancak pratikte bu değer 35-50 Mbit/sn seviyelerine inmektedir. 5G, 20 Gbit/sn civarında maksimum teorik hız ve uygulamada 3 Gbit/sn hız değerleriyle mevcut standartları yaklaşık 100 katına çıkaracaktır. Bundan dolayı 5G şebekesinde, yüksek geniş bant hızları ön plana çıkmaktadır.

- **Düşük Gecikme Süresi:** Gecikme, kullanıcıların bir bilgi işlem komutunun yürütülmesini talep etmeleri ile o komutun fiili olarak yerine getirilmesi arasındaki süre olarak ifade edilebilir. En kısa haliyle ise bir bilgi paketinin iki nokta arasında seyahat etmesi için geçen süredir. Mevcut mobil iletişim ağlarında ortalama gecikme süresi yaklaşık olarak 50 ms'dir. 5G ağlarının bu değeri 1 ms'ye düşürmesi beklenmektedir. Gecikmeyi azaltmak, kullanıcı deneyimlerinin iyileşeceği anlamına gelir. Bu sayede mobil uygulamalar ve web sayfaları çok daha hızlı yüklenir ve işlemler anında gerçekleştirilir. Ayrıca gecikmenin azaltılması, 5G bulut mimarisi üzerinden çalışmasına izin verilen yapay zeka uygulamaları için de oldukça önemlidir. Örneğin, bir aracın insan müdahalesi olmaksızın gezinmesine ve çevresini algılamasına olanak veren otonom sürüş teknolojisinin dijital hesaplamalarında, yüksek hız büyük önem arz etmektedir. Çünkü bir araç sensöründen kaynaklanan küçük gecikmeler bile feci sonuçlar doğurabilir.

- **Şebekeye Bağlı Cihaz Sayısı:** Önceki mobil haberleşme nesilleri gibi 4G teknolojisinde de aynı konumda yer alan birden çok cihazı şebekeye bağlı tutmada zorluklar yaşanabilmektedir. Bu durum genellikle kalabalık spor etkinliklerinde, konserlerde veya mitinglerde görülebilmektedir. 5G ağında, her bir mobil cihazla kurulacak olan akıllı ve yüksek hassasiyetli bağlantı ile bu problem çözüme kavuşturulacaktır. Mevcut şebekeler, kilometre kare başına 100 bin adet mobil cihazın ağa bağlanabilmesine imkan verirken, bu sayının 5G'de 1 milyon adeti bulması beklenmektedir. Şebekeye bağlanan cihazların sayısının her yıl yaklaşık %25 arttığı gerçeği ele alındığında, daha fazla cihazın ağa bağlanabilmesi yeni nesil mobil haberleşme sistemleri için kritik bir öneme sahiptir.



Şekil 2.16 4G'ye kıyasla 5G'nin sunduğu performans iyileştirmeleri[117]

- **Yüksek Güvenilirlik:** Güvenilirlik, belirli bir miktarda trafiği (veri) belirli bir süre içinde yüksek bir başarı olasılığıyla iletme kabiliyetini ifade eder. 5G tarafından sağlanacak kritik hizmetlerde, bağlantı kaybı ve hizmet kalitesindeki sapmaların son derece nadir olacağı düşünülmektedir. Bu yeni teknoloji, terminal cihazlarının aynı anda birden fazla hücreye bağlanmasına izin verecek bir sistem yapısına sahip olacaktır. Bu sistem yapısı ile hücrelerin yakın konumlandırılması sayesinde herhangi bir arıza durumunda dahi, bağlantı noktasında başarısızlık riski en aza indirilmiş olacaktır.

- **Bant Genişliği:** Bant genişliği, verileri herhangi bir kayıp veya bozulma olmaksızın taşımak üzere modüle edilmiş belirli bir sinyali geçirmek için

[117] Pierre Renaldo ve Guillaume Vaquero, "5G: A New Generation Of Technology, but Where Will the Innovation Come From?", *Wavestone*, (2019), s.3.

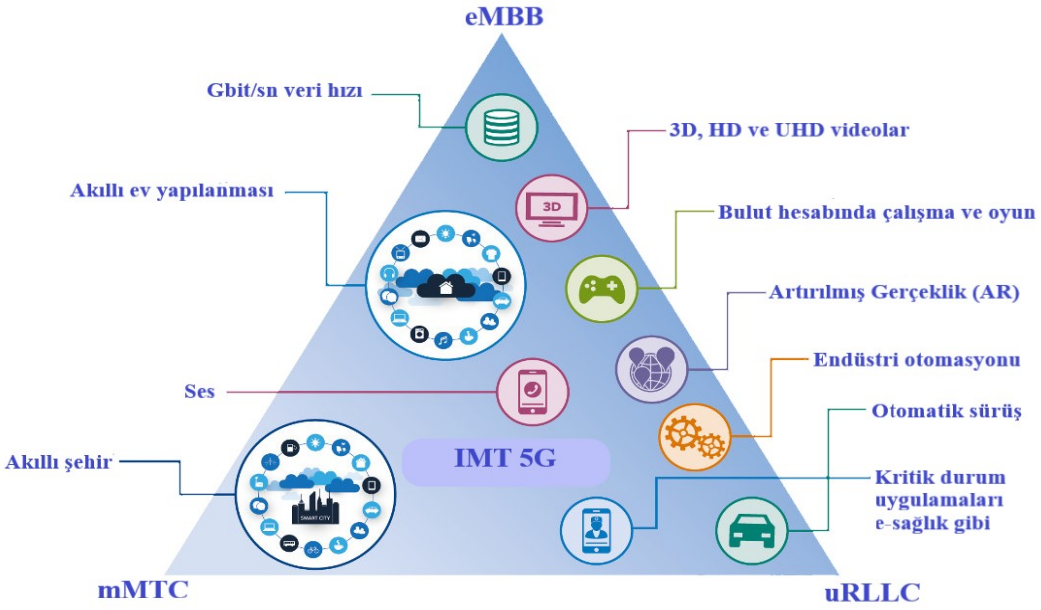
gereken frekans aralığı olarak ifade edilebilir. 5G'nin 4G'den önemli ölçüde daha fazla bant genişliğine veya kapasiteye sahip olması beklenmektedir. Bunun sebebi, 5G şebekelerinde spektrumun nispeten daha verimli bir şekilde kullanılmasıdır. 4G, frekans spektrumunun dar bir dilimi olan 600-2500 MHz frekans aralığını kullanmaktadır. Ancak 5G üç farklı frekans bandına bölünmüştür. Her bir frekans bandının kendine has bir frekans aralığı ve hız kapasitesi vardır. Buna bağlı olarak kullanıcılar, işletmeler ve endüstriler için farklı özelliklere ve kullanım durumlarına sahip uygulamalar 5G ile hayata geçirilecektir.

2.6.2 5G Kullanım Alanları (5G Ekosistemi)

Mobil telekomünikasyon teknolojilerinin en heyecan verici çağı olan 5G, mevcut şebekelerdeki teknolojik zorlukları ortaya koymuş ve haberleşme sistemlerine yeni bir soluk getirmenin gerekliliğini gün yüzüne çıkarmıştır. Bu ihtiyaç göz önüne alındığında yeni nesil mobil şebeke sisteminin, birtakım talepleri karşılaması beklenmektedir. Bu beklentiler doğrultusunda 5G mobil şebekesinin sunacağı hizmetler, ITU tarafından üç kategori halinde sınıflandırılmıştır. Bu kategoriler aşağıda ifade edilmiştir :[118]

1. Gelişmiş Mobil Geniş Bant (enhanced Mobile Broadband - eMBB)
2. Ultra Güvenilir ve Düşük Gecikmeli İletişim (ultra-Reliable and Low-Latency Communications - uRLLC)
3. Kapsamlı Makine Tipi İletişim (massive Machine Type Communications - mMTC)

[118] Huawei Technologies Co.,Ltd., 5G Network Architecture: A High Level Perspective, 2016, White Paper, s.5. (https://www-file.huawei.com/-/media/corporate/pdf/mbb/5g_nework_architecture_whitepaper_en.pdf?la=en-us)



Şekil 2.17 ITU'ya göre 5G ekosistemi[119]

eMBB, insanlığın dijital yaşam tarzına yönelik gittikçe artan talebini karşılamayı hedefler. Ayrıca yüksek çözünürlüklü (High Definition - HD), ultra yüksek çözünürlüklü (Ultra High Definition - UHD) ve üç boyutlu (3 Dimensional – 3D) videolar, sanal gerçeklik (Virtual Reality - VR) ile artırılmış gerçeklik (Augmented Reality - AR) gibi yüksek bant genişliğine ihtiyaç duyulan hizmetlere odaklanır. uRLCC, dijital endüstri dünyasının zorlu taleplerini karşılamayı hedefler. Bununla birlikte, yardımlı veya otomatik sürüş ile uzaktan yönetim gibi gecikmeye duyarlı servislere yönelik çalışmalara ağırlık verir. mMTC, akıllı şehir ve akıllı tarım gibi yüksek bağlantı yoğunluğuna sahip hizmetler sunmayı amaçlar. Kısacası daha gelişmiş bir dijital toplum için çalışmalarını sürdürmektedir.[120]

2.6.3 5G'yi Hayata Geçirecek Olan Anahtar Teknolojiler

5G için temel teknolojiler arasında; kapsamlı MIMO (Massive MIMO), bulut veya merkezi Radyo Erişim Ağı (Cloud/centralized Radio Access Network – C-

[119] ITU,"Setting the Scene for 5G: Opportunities and Challenges", White Paper, (2018) s.7.(http://www.itu.int/pub/D-PREF-BB.5G_01-2018)
[120] A.g.k.,s.7.

RAN), Makineler Arası (Machine to Machine– M2M) İletişim, Ağ Fonksiyonlarını Sanallaştırma (Network Function Virtualisation - NFV), Yazılım Tanımlı Ağ (Software Defined Network - SDN), Çok Erişimli Uç Bilişim (Multi-access Edge Computing - MEC), milimetrik dalga (mmWave) kullanımı ve Ağ Dilimleme'dir (Network Slicing).[121]

Bu teknolojik kavramları daha iyi ifade etmek ve anlamak adına bir mobil iletişim ağı mimarisinin olmazsa olmaz ve birbirinden farklı iki parçasını izah etmek gerekmektedir. Bu kavramlar, erişim ağı (Access Network) ve çekirdek ağdır (Core Network).

- **Erişim Ağı:** Nihai kullanıcıları (mobil cihazlar) operatörün merkezi şebekesine bağlayan ağ bölümüdür. Operatörün mobil cihazlar ile şebeke arasında radyo sinyalleri vasıtasıyla bağlantı sağlayan altyapının bir parçasıdır.[122]

- **Çekirdek Ağ:** Telekomünikasyon operatörleri için bir şebekenin temel kısımlarından biridir. Operatörlerin tüm işlevlerini ve hizmetlerini yöneten bölümdür.[123]

2.6.3.1 Ağ Sanallaştırma (SDN – NFV)

Ağ sanallaştırma (SDN - NFV), ağ donanımı ve yazılımının birbirinden ayrılmasıdır. Bu sayede ağ işlevlerinin özel donanım yerine geleneksel bilgi teknoloji sunucularında çalıştırılması sağlanmış olur. Ağ işlevlerini, birim olarak üretilen donanım üzerinde çalıştırmanın doğrudan faydalarının ötesinde, bir ağın sanallaştırılması, ağ mimarisi açısından daha fazla esneklik sağlar. Yazılım Tanımlı Ağ (SDN), ağ mimarisinin kontrol düzlemi ile veri düzleminin ayrılmasına dayanan bir kavramdır. SDN mimarisi, kontrol yazılımı kullanılarak merkezi bir kontrol

[121] China Academy of Information and Communications Technology (CAICT), "5G Security Report", *IMT-2020(5G) Promotion Group*, Technical Report, (2020), s.5.
[122] aepd, "Introduction to 5G Technologies And Theır Risks In Terms Of Privacy", *Spanish Data Protection Agency,* White Paper, (2020), s.5.
[123] A.g.k., s.5.

katmanı etrafında oluşturulmuştur. Bu mimari ağ öğelerinin dinamik olarak yeniden yapılandırılmasına imkan vererek 5G şebekelerinin donanım yerine yazılım tarafından kontrol edilmesini kolaylaştırır ve ağ esnekliği, performans ile hizmet kalitesinin iyileştirilmesine olanak tanır. Ağ Fonksiyonu Sanallaştırma (NFV) bir sanallaştırma biçimi olup, standartlaştırılmış sunucuları kullanarak ağ servislerinde yazılım şeklinde uygulama olanağı sağlar. NFV, ticari kullanım için tasarlanmış donanımların ağ işlevlerini (güvenlik duvarları, yük dengeleyiciler ve yönlendiriciler) sanallaştırılmış örneklerle değiştirir ve bu şekilde kalitesini artırarak maliyetin düşürülmesini sağlar.[124]

2.6.3.2 Kapsamlı MIMO (Massive MIMO) Mimarisi

Bilindiği üzere MIMO teknolojisi, uzamsal verimliliği artırmak için oluşturulmuş bir sistemdir. MIMO'nun bir uzantısı olan kapsamlı MIMO mimarisinde, baz istasyonuna yüzlerce veya binlerce anten eklenerek eski sistemlerin ötesine geçilmiştir. Devasa sayıda anten, enerjinin odaklanmasına yardımcı olur ve bu durum iş hacmi ve verimlilikte önemli gelişmelere zemin hazırlar. Artan anten sayısıyla birlikte, hem ağ hem de mobil cihazlar tarafından, MIMO işlemlerini koordine etmek için daha kapsamlı tasarımlar uygulanır. Bu gelişmelerin tümü, tüketicilerin bu yeni çağda bekledikleri 5G deneyimlerini desteklemek için gereken performans iyileştirmelerini gerçekleştirmeyi hedeflemektedir.[125]

Kapsamlı MIMO, 5G'de çok yüksek hızlarda veri transferi gerçekleştirilmesini sağlayan teknolojilerden bir tanesidir. Bu teknolojinin kullanılmasıyla 5G'nin sahip olduğu potansiyel daha yüksek bir düzeye taşınmış

[124] "What is 5G?", https://5gobservatory.eu/about/what-is-5g/ (03.03.2021)
[125] A.g.k.

olacaktır. Bu mimarinin şebekeye ve son kullanıcıya sağladığı başlıca yararları şu şekilde sıralanabilir[126]:

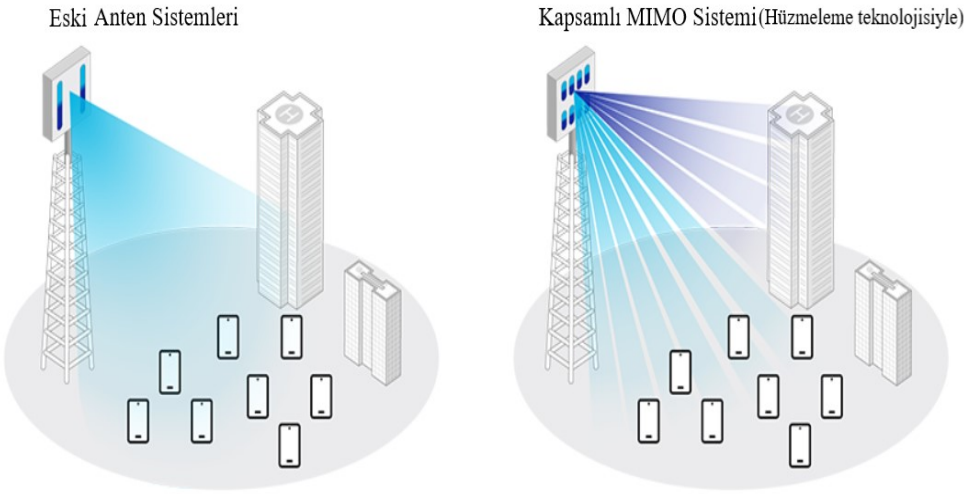
- **İyileştirilmiş Kapsama Alanı:** Kapsamlı MIMO mimarisiyle, kullanıcıların hücrenin her alanında yüksek veri hızı hizmetine ulaşması mümkün kılınacaktır. Ayrıca üç boyutlu hüzmeleme (3D Beamforming) teknolojisinin de kullanılmasıyla, dinamik bir kapsama alanı oluşturularak hareket halindeki kullanıcılara kaliteli mobil hizmetin ulaştırılması sağlanır.

- **Artırılmış Ağ Kapasitesi:** Ağ kapasitesi, bir kullanıcıya sunulabilecek toplam veri hacmi ve hizmet sunulabilecek maksimum kullanıcı sayısıdır. Kapsamlı MIMO, öncelikle 6 GHz altında (Sub-6 GHz) yer alan spektrum alanında yüksek frekanstaki 5G planlamasını etkinleştirerek artan kapasiteye katkıda bulunur. İkinci olarak, MU-MIMO kullanılarak birden çok kullanıcıya aynı zaman ve frekansta hizmet verilmesi sağlanır.

- **Kullanıcı Deneyimi:** Yukarıda yer alan faydalar ışığında daha iyi bir kullanıcı deneyimi sunulmuş olacaktır. Bununla beraber, hareket halinde olup olmadıklarına bakılmaksızın her kullanıcının büyük boyutlarda verileri aktarmaları ve indirmeleri için gereken koşullar da sağlanmış olacaktır.[127]

MIMO'nun bir başka formu olan Çok Kullanıcılı MIMO (Multiple User MIMO – MU-MIMO) birtakım avantajlara sahiptir. Bu sistem sayesinde birden çok mobil cihazın aynı frekansta ve aynı zamanda bir baz istasyonuyla haberleşmesine imkan tanınır. Bu şekilde, birden fazla veri akışının sağlanmasına ortam sunulur. Birden çok kullanıcıya aynı iletimle hizmet vermek kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar ve kapasiteyi artırır.[128]

[126] "How 5G massive MIMO transforms your mobile experiences", https://www.qualcomm.com/news/onq/2019/06/20/how-5g-massive-mimo-transforms-your-mobile-experiences (03.03.2021)
[127] A.g.k.
[128] A.g.k.



Şekil 2.18 Mevcut anten ve kapsamlı MIMO arasındaki kapsama alanı karşılaştırması[129]

2.6.3.3 Hüzmeleme (Beamforming)

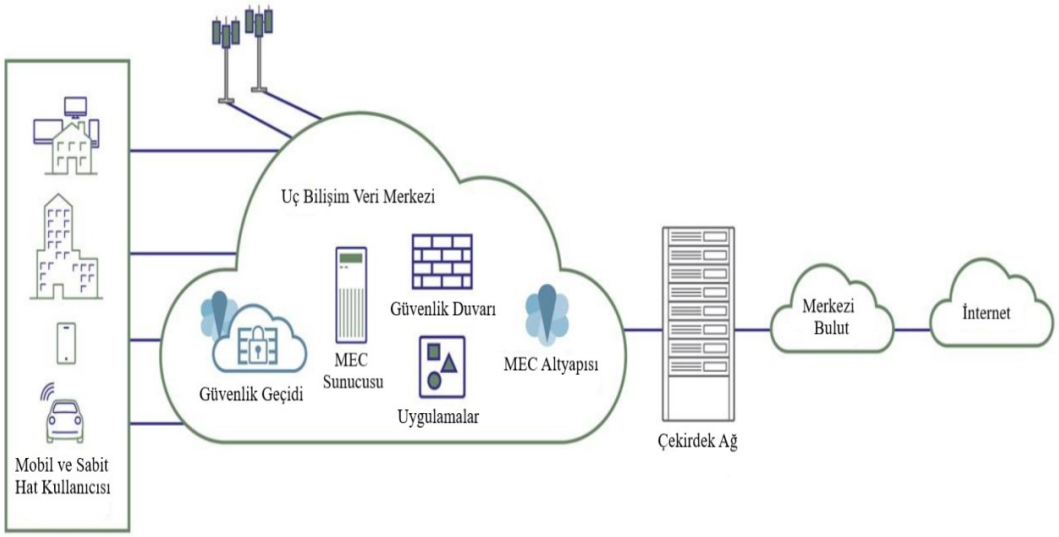
Hüzmeleme, kapsamlı MIMO'nun içeriğinde yapılan işlemlerden biridir. Bu işlem, kablosuz bir sinyali geniş bir alana yaymak yerine belirli bir yöne odaklamak amacıyla hem mobil cihazlarda hem de baz istasyonlarında gelişmiş anten tekniklerinin kullanıldığı bir teknolojidir. Bu teknoloji, kapsamlı MIMO yapısında yer alan oldukça fazla sayıdaki anten sistemleriyle birlikte kullanıldığında üç boyutlu hüzmeleme (3D Beamforming) halini alır. Üç boyutlu hüzmeleme yapısıyla her bir kullanıcı için direkt bağlantı ışını gönderilir ve bu sayede veri hızları ile kapasite artırılarak kullanıcı memnuniyeti sağlanır.[130]

2.6.3.4 Çok Erişimli Uç Bilişim (MEC)

Uç bilişim (Edge Computing), bulut hizmetlerini ağın ucunda kullanıcılara ve veri üreten cihazlara yaklaştırmayı amaçlayan nispeten yeni bir paradigmadır.

[129] "Samsung Shares Massive MIMO Roadmap in New Whitepaper", https://news.samsung.com/za/samsung-shares-massive-mimo-roadmap-in-new-whitepaper (03.03.2021)
[130] Dumitrel Loghin vd., "The Disruptions of 5G on Data-driven Technologies and Applications", cs.NI, (2019), s.2.

İnternete bağlanan cihazların sayısının artmasıyla internetin omurga bağlantıları üzerindeki baskı artmaktadır. Uç bilişim, veri üreten cihazlara daha yakın hesaplamaların bir kısmını veya tamamını gerçekleştirerek bu sorunu giderir.



Şekil 2.19 MEC mimarisi[131]

Çok Erişimli Uç Bilişimde (Multi-access Edge Computing), uygulama geliştiricilerine ve içerik sağlayıcılarına bulut bilişim kapasitesi ve ağın uç kısmında bilgi teknolojisi hizmet ortamı sunulur. Bu ortam, ultra düşük gecikme süresi ve yüksek bant genişliğinin yanı sıra uygulamalar tarafından kullanılabilen radyo ağı bilgilerine gerçek zamanlı erişim olarak tanımlanabilir. MEC, mobil haberleşme teknolojilerine eklenen bir değer zinciri ve yeni bir ekosistem olarak nitelendirilebilir. Radyo Erişim Ağlarının (RAN) operatörler tarafından yetkili üçüncü şahıslara açılmasıyla, modern uygulamaların ve hizmetlerin 5G mobil abonelerine, kuruluşlara ve dikey endüstrilere yönelik olarak hızlı ve esnek bir şekilde dağıtılması sağlanmış olur.[132]

[131] "What is Multi-access Edge Computing?", https://www.juniper.net/us/en/products-services/what-is/multi-access-edge-computing/ (04.03.2021)
[132] "Multi-access Edge Computing (MEC)", https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing (04.03.2021)

Uç bilişim, gerçek zamanlı ve gecikmeye aşırı duyarlı uygulamalar için giderek daha önemli bir hale gelmektedir. Bu yapı sayesinde, veri ile son kullanıcı cihazı arasındaki mesafe azaltılarak kapsamlı uygulamalar için çok düşük gecikme süresiyle bilgi işlem gücü temin edilir. Bu şekilde veri dağıtımı hızlandırılır, veri transferindeki maliyetler düşürülür ve veri trafiğindeki rotalar optimize edilmiş olur.

2.6.3.5 Merkezi veya Bulut Radyo Erişim Ağı (C-RAN)

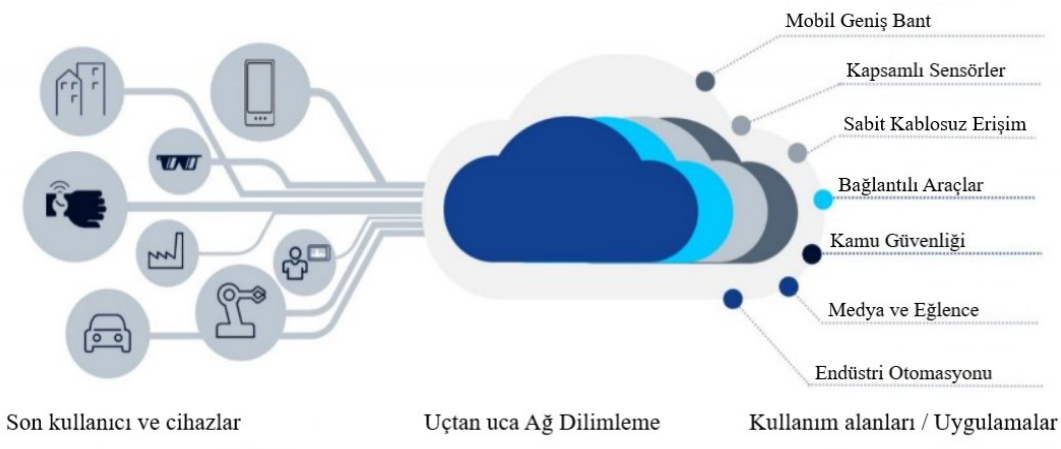
4G'den 5G'ye geçiş aşamasında ihtiyaç duyulan baz istasyonu yoğunluğundaki önemli artış ve buna ilişkin saha edinme zorluğu, şebeke kurma maliyetlerini artırmaktadır. Ek olarak, baz istasyonlarının yoğun bir şekilde yerleştirilmesi ciddi ortak kanal girişimlerine (co-channel interference) neden olur ve kullanıcı deneyimlerini hücre kenarlarında önemli ölçüde kötüleştirir. Bulut radyo erişim ağı (C-RAN) mimarisi bu zorlukları ele almak için geliştirilmiştir. Bu mimaride; tek bir merkezde bir araya getirilmiş temel bant üniteleri (Base Band Unit - BBU), dağıtım işlemi ile saha edinimini kolaylaştırır. Ayrıca, sahada gerekli olan cihaz ve güç kaynaklarının sayısını azaltarak enerji ve ekipman maliyetlerini de düşürür.[133]

C-RAN, 5G şebekelerinin gerçekleştirilmesi için hayati öneme sahip anahtar bir teknolojidir. Bu teknoloji, merkezi işlem birimleriyle beraber sanallaştırma tekniklerini kullanan, mobil baz istasyonlarında dağılmış olan sinyal işleme birimlerinin yerini alan ve küçük hücrelere dayalı yoğun mobil ağların yayılım maliyetini düşüren bulut tabanlı bir radyo ağı mimarisidir. Sahip olduğu bu özellikler, C-RAN'ı kablosuz ağ kurmada vazgeçilmez bir unsur haline getirecektir.[134]

[133] "Setting the Scene for 5G: Opportunities and Challenges", s.12.
[134] A.g.k.

2.6.3.6 Ağ Dilimleme Teknolojisi (Network Slicing)

Temeli SDN ve NFV'ye dayanan 5G şebekelerinde, tek bir fiziksel altyapının üzerinde sanallaştırılmış olan uçtan uca ağları çoğullamak için ağ dilimleme tekniği kullanılır. 5G tarafından bu tekniğin kullanılmasıyla, altyapı operatörleri ile hizmet sağlayıcıları birbirinden ayrılarak hem işletmelere hem de son kullanıcılara çeşitlendirilmiş bir hizmet yelpazesi sunulmuş ve bununla birlikte donanım kaynakları da en iyi şekilde kullanılmış olacaktır.[135]



Şekil 2.20 Ağ dilimleme teknolojisi[136]

5G'den önceki mobil haberleşme teknolojilerinde uçtan uca ağda tüm kullanıcılara aynı standartlarda hizmet sağlanıyordu. Bir kullanıcıya talep ettiği standartlarda bir hizmet sunulmak istendiğinde, fiziksel bir ağ veya sanal özel ağ (Virtual Private Network - VPN) kullanılması gerekiyordu. 5G sistemlerinde, ağ dilimleme tekniği kullanılarak bu durum değiştirilecektir.[137]

3GPP standartlarında tanımlanan 5G teknolojisine entegre edilen bu teknikle operatörlerin ortak bir altyapı üzerinden kullanıcılara farklı hizmet sınıfları sunmasının da önü açılmış olacaktır. Örneğin, dilimleme teknolojisi ile bir operatör bir grup aboneye 1 Gbit/sn garantili indirme hızı ve minimum gecikme süresini

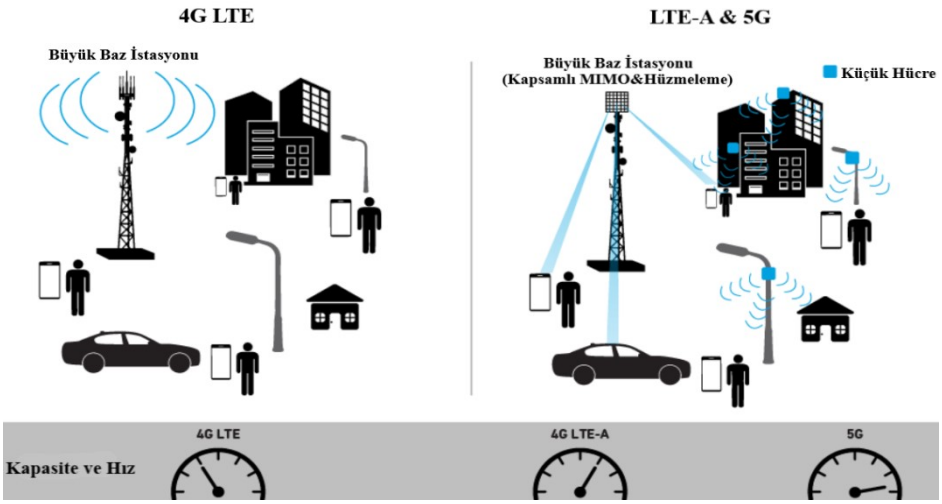
[135] Loghin vd., "The Disruptions", s.3.
[136] "Network Slicing explained", https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/network-slicing-explained/ (04.03.2021)
[137] A.g.k.

içeren bir hizmet sunarken, başka bir grup aboneye 10 Mbit/sn'nin üzerinde performans hızı ve 10 ms'nin altında gecikme süresine sahip bir hizmet sunabilir. Bu hizmetlerin her ikisinin de iletimi tam olarak aynı fiziksel ağ üzerinden gerçekleştirilir.

2.6.3.7 Küçük Hücre (Small Cell) Uygulaması

5G'de gerekli veri kapasitesini sağlamak için ağ yoğunluğunun artırılması gerektiğinden, küçük hücrelerin ve küçük hücreli ağların daha fazla kullanılacağı öngörülmektedir. Küçük hücre ağı, genel ağ kapasitesini artırmak için milimetrik dalgaları kullanan ve düşük güç ileten bir grup baz istasyonu olarak da ifade edilebilir. 5G küçük hücre ağı, yükü paylaşmak ve milimetrik dalgalarda daha önemli hale gelen fiziksel engellerin zorluklarını azaltmak için bir grup küçük hücreyi koordine ederek çalışır.[138]

Şekil 2.21'de görüleceği üzere 4G şebekelerinde merkezi baz istasyonları bulunurken, LTE-A ve 5G şebekelerinde hem merkezi baz istasyonu hem de düşük güç yapısına sahip ve çok sayıda küçük hücre olarak adlandırılan verici sistemleri yer almaktadır.



Şekil 2.21 5G küçük hücre uygulaması[139]

[138] "5G NR New Radio", https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/5g-nr-new-radio.php (10.03.2021)
[139] "Tips and Trends: Small Cell 5G Systems", https://www.qorvo.com/design-hub/blog/tips-and-trends-small-cell-5g-systems (10.03.2021)

Küçük hücre uygulaması mevcut LTE-A şebekelerinde kullanılmaya başlanmakla beraber, kentsel yerleşim yerlerinde yüksek frekans bantları üzerinden dağıtımı planlanan 5G şebekelerinde daha popüler bir hale gelecektir. Küçük hücrelerin yaygınlaşmasıyla sağlanacak olan erişim kolaylığı ve kalitesi sayesinde hız ve kapasite yönünden kullanıcı memnuniyetinin oldukça artacağı düşünülmektedir.

2.6.3.8 Makineler Arası (M2M) İletişim

Makineden makineye veya bir başka ifadeyle makineler arası iletişim, veri yollarını bir ağ altyapısı (baz istasyonu veya çekirdek ağ) üzerinden yönlendirmeden cihazların birbirleriyle doğrudan bağlantı kurmasını sağlayan bir radyo teknolojisini ifade etmektedir. Burada bahsedilen cihazlar, araç veya cep telefonları olabilir. Bu teknoloji, 5G'ye ilişkin uç merkezli uygulamaların gelişimini hızlandırma potansiyeline sahip temel özeliklerden biridir. Bu özellik sayesinde yüksek hızlarda hareket eden bir araç M2M modunda şerit değiştirirken veya yavaşlarken yakındaki araçları uyarabilecektir.[140]

Bu teknoloji, genellikle ağ altyapısıyla doğrudan iletişim gerektirmeyen bir yapıya sahip olduğundan dolayı cihaz merkezli bir haberleşme ortamı oluşturur. Ayrıca cihazlar arası direkt bir bağlantının kurulmasının, uçtan uca gecikmenin de en az seviyelere indirilmesine katkıda bulunacağı öngörülmektedir. 5G daha hızlı ve güvenilir bir ağ ortamına maksimum sayıda cihazın bağlanmasını vadetmektedir. Bu sebeple 5G'nin M2M iletişim teknolojisinde ağ kapasitesi sorununu çözmesi beklenmektedir.

[140] Loghin vd., "The Disruptions", s.3.

2.6.3.9 Milimetrik Dalga (mmWave) Kullanımı

5G teknolojisinde, hedeflenen minimum 1Gbit/sn veri hızlarına ulaşmak ve ortaya çıkan yeni veri ihtiyaçlarını karşılamak için yüksek frekanslara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yeni teknoloji tarafından son kullanıcılara sağlanması amaçlanan yüksek veri hızları için büyük bant genişliklerine sahip yüksek frekanslara gereksinim vardır. Bu hususta 20 GHz'nin üzerindeki spektrum, bölgesel ve ulusal düzeylerde oldukça rağbet görmektedir. Bu amaçla 5G kullanımına sunulmak üzere 24-86 GHz spektrum aralığında çalışmalar devam etmektedir. 25-27.7 GHz, 31.8-33.4 GHz, 37-43.5 GHz, 45.5-50.2 GHz, 50.4-52.6 GHz, 66-79 GHz ve 81-86 GHz frekans aralıkları, belirlenmiş olan hedefler arasında yer almaktadır.[141]

20 GHz'nin üzerinde yer alan mevcut bant genişlikleri 1 GHz veya bu değerden daha büyüktür. Bu bant genişliği de 5G bünyesindeki kritik hizmetler de dahil olmak üzere hemen hemen bütün uygulamaların hayata geçirilmesi için yeterli görülmektedir. Bununla beraber; yüksek frekansların mobil sektör tarafından kullanımı, esas olarak yayılım özellikleri ve dalga boyunun küçüklüğü sebebiyle birtakım sorunları da beraberinde getirmektedir. Milimetrik dalga vericilerinin sınırlı bir menzile sahip olması nedeniyle birçok küçük vericinin konuşlandırılması gerekmektedir. Bundan dolayı milimetrik dalga kullanımı, vericilerin evlere ve binalara yakın mesafede olabileceği kentsel alanlarda uygulanabilecektir.[142]

2.6.4 5G Frekans Spektrumu

Spektrum, kablosuz iletişim için en temel girdilerden bir tanesidir. Bundan dolayı spektrumun kullanılabilirliği 5G ve bağlı olacağı şebekeler için kritik bir öneme sahiptir. Küçük hücre planlaması gibi 5G kapsamındaki teknolojik gelişmeler, spektral verimliliği artıracak ve spektrumun daha yoğun kullanılmasına izin verecek olsa da, kıt bir kaynak olan spektruma taleplerin artarak devam etmesi

[141] "What is 5G?".
[142] A.g.k.

beklenmektedir. Ağ yoğunlaşması ve spektrum verimliliğindeki teknolojik gelişmelerin, ek spektrum kaynakları olmadan tahmin edilen veri talebini karşılamak için yetersiz olabileceği tahmin edilmektedir.

ITU-R'ye bağlı Çalışma Grubu 5D, IMT-2020 için teknik gereksinimlerin tespit edilmesi ve buna ilişkin bir vizyon oluşturulması ile beraber muhtemel spektrum talebinin belirlenmesi adına bir çalışma başlatmıştır. Bu çalışmada, gelişmiş mobil geniş bant (eMBB) uygulamalarında talep edileceği öngörülen veri hızlarının karşılanması için 24.25-86 GHz frekans aralığındaki spektrumun gerekli olacağı vurgulanmıştır. Bu noktada 5G için spektrum gereksinimleri, üç ana frekans aralığında incelenebilir. Bunlar:[143]

- Düşük Frekans Bantları (<1 GHz)
- Orta Frekans Bantları (1-6 GHz)
- Yüksek Frekans Bantları (>24 GHz)

Düşük frekans bantlarında yer alan 600 MHz ve 700 MHz bantları, 4G'den 5G'ye geçiş aşamasında çoğunlukla kullanılması uygun görülen aday frekans aralıkları olarak tanımlanmaktadır. Orta frekans bantlarında 3.4-3.8 GHz bandı birçok ülkede 5G için öncelikli olarak belirlenirken, bazı ülkelerde bu aralığa 3.9-4.2 GHz bandının da eklenmesi düşünülmektedir. Örneğin; Avrupa Birliği'nde Radyo Spektrumu Politika Grubu, 3.4-3.8 GHz frekans bandını 5G için birincil bant olarak belirlemiştir. Amerika kıtasındaki düzenleyici kurumlar, 5G dağıtımında kullanılmak üzere 3.3-3.8 GHz bant aralığında farklı bloklar belirlemiştir. Asya'da Çin Halk Cumhuriyeti IMT-2020 için 3.3-3.6 GHz, Japonya 3.4-3.6 GHz, Kore 3.4-3.7 GHz ve Hindistan 3.3-3.6 GHz bantlarını kullanıma sunmuşlardır.[144]

[143] OECD, "The Road to 5G Networks", *OECD Digital Economy Papers,* 284 (2019), s.22.
[144] A.g.k., s.22.

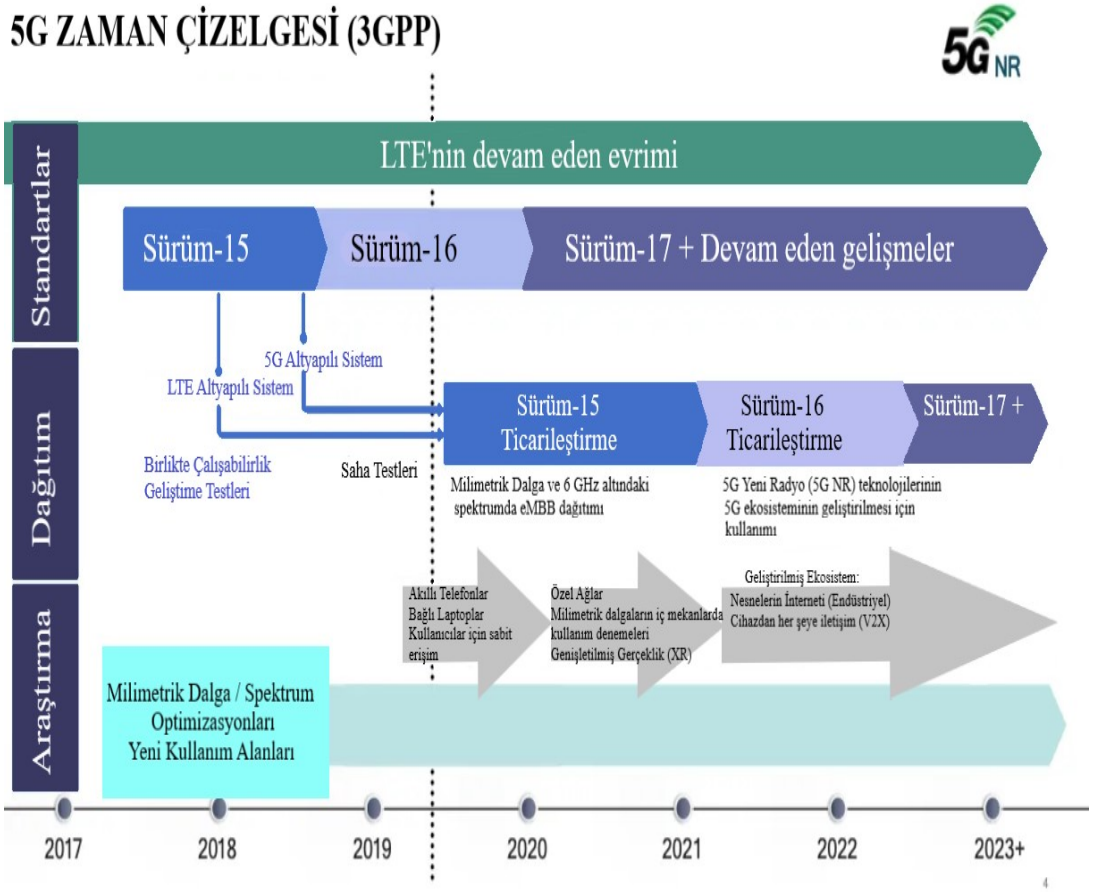
Milimetrik dalga spektrumu olarak da bilinen üçüncü kategoride Avrupa, Latin Amerika ve ABD'de verilen kararların yanı sıra, 24 GHz üzerindeki spektrumun 5G şebekeleri için anahtar görevi göreceği düşünülmektedir. Örneğin, Avrupa'da Radyo Spektrum Politika Grubu tarafından yüksek frekanslarda belirlenen öncü 5G bandı 24.25-27.5 GHz frekans aralığıdır ve buna yönelik çalışmalar CEPT tarafından tamamlanmıştır. Amerika ve Asya kıtalarının birçok bölgesinde 28 GHz bandı ve sonrasında 37-43.5 GHz bandının belirli kısımları 5G için tanımlanmıştır.[145]

2.6.5 5G Standardizasyonu

5G için resmi küresel standartlar belirlemekten sorumlu uluslararası birlik ITU'dur. 2012 yılında ITU-R tarafından 2020 yılı ve sonrası için IMT programı başlatılmıştır. Bundan dolayı ITU nezdinde 5G teknolojisi, IMT-2020 olarak da adlandırılmaktadır. Başlatılan bu program, günümüze kadar dünya çapında yapılan 5G araştırma ve geliştirme faaliyetlerine zemin hazırlamıştır. Bu doğrultuda, ITU tarafından 5G şebekesinin sahip olması gereken minimum teknik performans koşulları 2017 yılında yayınlanmıştır. Bu koşullar kısaca şunlardır:[146]

- Bir kullanıcı için minimum 100 Mbit/sn'lik veri indirme hızı deneyimi,
- Bir kullanıcı için minimum 50 Mbit/sn'lik veri yükleme hızı deneyimi,
- Kilometre kare başına 1 milyon cihazın ağa bağlanması ve tüm cihazların kaliteli hizmet alabilmesi,
- Kullanıcının mobil geniş bant için 4 milisaniye (ms) ve ultra düşük gecikmeli uygulamalar (otonom sürüş gibi) için 1 milisaniyelik gecikme süresi deneyimidir.

[145] OECD, "The Road to 5G Networks", s.22.
[146] Lorna Christie, 5G Technology, 2019, White Paper, s.11. (https://post.parliament.uk/research-briefings/post-pb-0032/)



Şekil 2.22 3GPP standartlarına göre 5G zaman çizelgesi[147]

ITU tarafından 5G teknik gereksinimlerine uygun standartlar geliştirilmesi için çalışan standart geliştirme kuruluşlarından birisi 3GPP'dir. Bilindiği üzere 3GPP; Asya, Avrupa ve Amerika'daki bölgesel standart kurumlardan oluşan uluslararası bir konsorsiyumdur ve yayınladığı sürümlerle telekomünikasyon teknolojileri için standartlar üretmektedir. 3GPP, 5G teknolojinin geliştirilmesine yönelik "Sürüm 15" ve "Sürüm 16" olarak adlandırılan iki aşama ile standartları şekillendirmiştir.[148]

- **Sürüm-15:** 5G mobil geniş bant standartlarını ana hatlarıyla belirtir. Haziran 2018'de yayınlanmıştır. Bu sürüm, hem "tek başına olmayan" (non-

[147] "Should We Even Be Talking About 6G?", https://semiengineering.com/should-we-even-be-talking-about-6g/ (10.03.2021)
[148] Christie, 5G Technology, s.11.

standalone) 5G mobil geniş bant (mevcut 4G altyapısı tarafından desteklenen 5G) hem de "bağımsız" (standalone) 5G mobil geniş bant (mevcut 4G altyapısından bağımsız olarak çalışabilen) için standartlara ayrılmıştır.

- **Sürüm-16:** Ultra güvenilirlik, düşük gecikme süresi ve makineler arası uygulamalar dâhil olmak üzere mobil geniş bandın ötesinde 5G uygulamaları için standartları özetleyen 3GPP sürümüdür. Planlandığı tarihten 3 ay gecikmeli olarak Temmuz 2020'de yayınlanmıştır. Birçok üretici, mevcut 3GPP standartlarına göre 5G mobil geniş bant için çeşitli ekipmanlar (baz istasyonları gibi) üretmeye başlamıştır.

2.6.6 5G ile İlgili Popüler Mobil Uygulama Trendleri

Yüksek hızlı, düşük gecikmeli ve geniş kapasiteli 5G ağlarının yaygınlaşması ile artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve nesnelerin interneti gibi bazı teknolojiler, birçok alanda rağbet görecek uygulamalar haline gelecektir. Bu teknolojik uygulamalar yalnızca kullanıcı tarafında değil aynı zamanda birçok ticari sektörde içerik ve iletişim taleplerini karşılama noktasında dönüştürücü niteliklere sahiptir.

2.6.6.1 Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality – AR)

Dijital verileri ve görüntüleri fiziksel dünyaya yerleştiren bir dizi teknoloji olan artırılmış gerçeklik, keşfedilmemiş ve benzersiz deneyimleri kullanıcılara sunmayı vadetmektedir.[149] AR, gerçek dünya bilgilerini sanal dünya bilgileriyle sorunsuz bir şekilde entegre edebilen bir teknolojidir. Bu teknoloji, gerçek dünyanın belirli bir zaman aralığında ve uzamsal boyutta tecrübe edilmesi zor olan bilgileri (görme, işitme, tat ve dokunma) bilgisayar teknolojileri aracılığıyla simüle eder. Ardından gerçek dünya üzerinde simüle edilmiş bilgiyi, insan duyuları tarafından algılanacak ve gerçekliğin ötesinde bir duyusal deneyime dönüştürecek hale

[149] "Why Every Organization Needs an Augmented Reality Strategy", https://hbr.org/2017/11/why-every-organization-needs-an-augmented-reality-strategy (25.03.2021)

getirir.[150] AR teknolojisinin, turizm, arkeoloji, sanat, ticaret, endüstriyel üretim ve restorasyon, eğitim, acil durum yönetimi, eğlence ve tıbbi tedavi dahil olmak üzere birçok alanda uygulanma şansı vardır.



Şekil 2.23 Günlük yaşamda geniş bir hizmet yelpazesine sahip olacak AR teknolojisi[151]

AR, multi-medya, üç boyutlu modelleme, gerçek zamanlı video görüntüleme, gerçek zamanlı izleme ve kayıt ile çoklu sensör entegrasyonu gibi teknolojik yöntemleri içinde barındırmaktadır. Ayrıca bu teknolojinin üç temel karakteristik özelliği bulunmaktadır. Bunlar, gerçek ve sanal dünyada bilgi entegrasyonu, gerçek zamanlı etkileşim ve üç boyutlu uzayda sanal nesnelerin eklenmesidir.

2.6.6.2 Sanal Gerçeklik (Virtual Reality - VR)

Sanal gerçeklik, 360º keşfedilebilen simüle edilmiş bir ortam oluşturmak için bilgisayar teknolojisinin kullanılmasıdır. Geleneksel ara yüzlerin aksine VR

[150] ZTE Corporation, "5G Cloud XR Application", White Paper,(2019), s.2.
[151] "VR and AR Pushing Connectivity Limits", https://www.qualcomm.com/media/documents/files/vr-and-ar-pushing-connectivity-limits.pdf (25.03.2021)

kullanıcıyı sanal ortama yerleştirerek sürükleyici bir deneyim yaşatır. Kullanıcıyı tamamen izole ederek alternatif bir dünyaya aktarmak için başa takılan bir ekran (Head-Mounted Display - HMD) ve VR kulaklıkları kullanılır.[152]



Şekil 2.24 Oculus tarafından kullanıma sunulan VR destekli aygıt[153]

Sanal gerçekliği karakterize eden ve onu artırılmış gerçeklik gibi diğer teknoloji biçimlerinden ayıran dört farklı unsur vardır. Bu unsurlar, üç boyutlu (3B) simülasyon ortamı, daldırma (immersion), duyusal etkileşim ve gerçekçi etkileşimdir. 3B simülasyonunda, VR ekranı ve kulaklıkları kullanılarak yapay bir ortam oluşturulur. Daldırma işleminde, ses ve gerçekçi görsellerle donatılmış ortama giren kullanıcı kendini başka bir yerdeymiş gibi hisseder. Duyusal etkileşim, daldırma sürecini daha eksiksiz ve gerçekçi hale getirmeye yardımcı olan görsel, işitsel ve dokunsal ipuçları içerir. Bu kısım özel eldivenler, kulaklıklar veya el kontrolleri gibi aksesuarların VR sistemine hareket ve duyusal veri girişi sağladığı

[152] "Virtual Reality in the Classroom", https://guides.library.utoronto.ca/c.php?g=607624&p=4938314 (22.03.2021)
[153] "Bilgisayar Destekli VR Oyunları", https://www.oculus.com/rift-s/ (23.03.2021)

yerdir. Gerçekçi etkileşim sayesinde ise sanal simülasyon, kullanıcının eylemlerine yanıt verir ve bu yanıtlar mantıksal ve gerçekçi bir şekilde gerçekleşir.[154]

2.6.6.3 Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT)

Nesnelerin interneti, internet üzerinden diğer cihazlara ve sistemlere bağlanmak ve veri alışverişi yapmak amacıyla sensörler, yazılımlar ve diğer teknolojilerle gömülü fiziksel nesnelerin ağı olarak tanımlanmaktadır.[155] Bu cihazlar sıradan ev eşyalarından gelişmiş endüstriyel aletlere kadar çeşitlilik gösterir. Günümüzde on milyarı geçen bağlı IoT cihaz sayısının, 2025 yılına kadar on beş milyar, 2030 yılına kadar ise yirmi beş milyarı geçeceği beklenmektedir.[156]

Nesnelerin interneti, dijital ve fiziksel gerçekler arasında köprü kurar ve bilgi odaklı otomasyona ve iş, toplum ve insanların yaşam düzeylerindeki iyileştirmelere katkıda bulunur. Bundan dolayı son birkaç yıl içinde IoT, günümüzün ve geleceğin en önemli teknolojilerinden biri haline gelmeye başlamıştır. Bu teknolojiyle beraber mobil cihazlar, mutfak aletleri, otomobiller, kameralar ve tıbbi cihazlar gibi nesneler, gömülü sistemler aracılığıyla internete bağlanabilmektedir. Düşük maliyetli bilgi işlem, bulut sistemi ve mobil teknolojiler sayesinde fiziksel nesneler, minimum insan müdahalesi ile verileri toplamak ve paylaşmak noktalarında yetenekli hale gelmiştir. Bu hiper bağlantılı dünyada dijital sistemler bağlantılı nesneler arasındaki her etkileşimi izleyebilir, kaydedebilir ve düzenleyebilir. Bu şekilde fiziksel dünya ile dijital dünya tek bir çatı altında buluşmuş olur.

Uluslararası Veri Şirketi (International Data Corporation - IDC) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, 2025 yılına kadar dünya verilerinin yarısından fazlası

[154] "6 Ways Virtual Reality is Changing the World", https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/6-ways-vr-is-changing-the-world (22.03.2021)
[155] "What is IoT?", https://www.oracle.com/tr/internet-of-things/what-is-iot/ (24.03.2021)
[156] "Number of Internet of Things (IoT) Connected Devices Worldwide from 2019 to 2030", https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/ (24.03.2021)

IoT cihazları tarafından üretilecektir. Bu verileri iletmek ve beklenen potansiyeli karşılamak, günümüz 4G teknolojisinden yaklaşık bin kat daha fazla kablosuz kapasite gerektirecektir. Bu noktada 5G'nin yüksek kapasite avantajı, ultra güvenilir sistem yapısı ve düşük gecikmeli iletişimi birçok kullanım alanını hayata geçirmede anahtar görevi üstlenecektir. Ayrıca 5G ile hızlandırılan uç bilişim sistemleri sayesinde, hem bilgi işlem süreci IoT uygulamalara yakınlaştırılmış olacak hem de veriler yerel ağ birimlerinde saklanmış olacaktır.[157]

2.6.7 5G'nin Sunduğu İmkânlar

5G'nin mobil geniş bant sistemlerindeki iyileştirmeleri ile çağın ötesinde ses ve görüntü kalitesine sahip gelişmiş teknik ve imkânlarının etkisinde kalacak olan potansiyel hizmet sektörleri hakkında birçok şey söylenmektedir. Bununla birlikte 5G'nin getireceği yenilikler her bir sektöre adım adım yansıyarak gerçekleştirilecektir. Bundan dolayı yaşanacak gelişmelerin kullanıcılara sunulmasında belirli bir sürece ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca bu kullanım alanlarının birçoğu geliştirme süreçlerinin ilk aşamalarındayken, bazıları da henüz tanımlanmamış olup 5G'nin yaygınlaşmasıyla kullanıcı deneyimine sunulabileceği öngörülmektedir. 5G'nin ilk aşamada mevcut mobil geniş bant sistemlerinin iyileştirilmesine odaklanacağı beklense de, bu teknoloji kendine özgü birtakım yeniliklerle ekstra kullanım alanları sağlayacaktır. Bu hususta birçok farklı sektör, daha hızlı, daha istikrarlı ve daha güvenli bir ağ ve altyapıya erişimin sunduğu çeşitli avantajlardan yararlanmaya hazırlanmaktadır. 5G'nin katma değer sağlaması beklenen seçkin endüstri dalları şunlardır:[158]

- Otomotiv ve Ulaşım
- Sağlık
- Üretim
- Enerji

[157] "Why 5G and IOT?", https://www.intel.com.tr/content/www/tr/tr/wireless-network/5g-iot.html (24.03.2021)
[158] BEREC, "Study on Implications of 5G Deployment on Future Business Models", *DotEcon Ltd and Axon Partners Group,* Study Report, (2018), s.28.

- Medya ve Eğlence

2.6.7.1 Otomotiv ve Ulaşım

Kritik sektörlerle ilgili dünya çapında araştırmalar yapan ve bilgi toplayan IHS Markit şirketinin 2017 yılında kamuoyuna sunduğu raporda 5G ağlarının, tedarik zinciri ve müşterileri de dahil olmak üzere otomotiv sektöründe toplam 2,4 trilyon dolar ekonomik çıktı sağlayacağı bilgisine yer verilmiştir. 5G'nin bu sektördeki ekonomik etkileri, küresel ölçekteki toplam etkinin yaklaşık %20'sini temsil etmektedir. Bu noktada 5G şebekeleri, otomotiv endüstrisinin dijital dönüşümünü ifade etmektedir.[159]

Otomobil üreticileri sürücüsüz arabalara güç verecek olan teknolojiyi geliştirme, uygulama ve piyasaya sürme noktasında kıyasıya mücadele etmektedir. Akıllı ve otonom araçlarda çok fazla bant genişliği kullanılır ve çok düşük bir gecikme süresi ile şebekeye kesintisiz bağlantı ihtiyacı duyulur. Bu bağlamda 5G tarafından desteklenen yüksek bant genişliği ve düşük gecikme süresi, akıllı arabaların verimli bir şekilde çalışmasına olanak verecektir. Bilindiği üzere 5G teknolojisi ile mobil kablosuz ağların kapasite ve veri hızları iyileştirilerek ağ sağlayıcıları tarafından cihazlara çok daha sağlam ve kesintisiz internet bağlantıları sunulması sağlanacaktır.[160] Bununla beraber, önemli miktarda veri üreteceği belirtilen sürücüsüz araçların yaygınlaşmasında da önemli paya sahip olacaktır. Bu teknoloji akıllı sürüşü daha güvenli ve daha verimli hale getirerek şehir içi otonom sürüş hizmetleri ile kendi kendine giden arabaların etkinleştirilmesine yardımcı olacaktır. Ek olarak, 5G şebekeleri araç üreticilerine yolculuk esnasında medya akış hizmetleri, navigasyon, trafik bilgileri, tehlike ve çarpışma uyarıları, hava durumu güncellemeleri ve araçları izinsiz girişlere karşı izlemek için siber güvenlik hizmetleri dahil olmak üzere çok çeşitli bir hizmet yelpazesi sunacaktır.

[159] Mohsen Attaran, "5G Wireless: A Transformative, Disruptive Technology", *Industrial Management (Norcross, Georgia),* (2019), s.20.
[160] Attaran, "5G Wireless", s.20.

Otomotiv sektörünün yanı sıra, halk otobüslerinden özel lojistik filolarına kadar uzanan ulaşım sektörü, 5G mobil kablosuz ağlarından büyük ölçüde yararlanacaktır. Mevcut mobil şebekelerle beraber kullanılmaya başlandığında 5G teknolojisinin ulaşım sistemleri üzerinde güvenlik ve kontrol açısından olumlu etkileri olacaktır. Düşük gecikme süresi, yüksek kapasite ve güvenilirlik insan ve yük taşımacılığının standartlarını daha yüksek bir seviyeye çıkaracaktır. 5G teknolojisi aracılığıyla yerleşim yerlerinde kapsamlı bir uçtan uca bağlantı sağlanacak ve ulaşım şirketleri için birçok iletişim türü desteklenecektir. Bu iletişim türlerinden biri araçların sinyalleri doğrudan birbirlerine aktardığı araçtan araca iletişim (Vehicle to Vehicle – V2V), diğeri ise araçların köprü, yol veya trafik ışıklarındaki sensörler aracılığıyla gerçekleştireceği araçtan altyapıya iletişimdir (Vehicle to Infrastructure – V2I). Bu şekilde bağlantı uyumlu araçların; trafik ışıkları, diğer araçlar veya yol kenarlarında bulunan sensörler gibi çevredeki aygıtlardan veri toplamasına olanak sağlanacaktır.[161]

V2I haberleşmesi araçların ve ulaşım altyapısının birbiriyle sorunsuz bir şekilde çalışmasına imkan tanıyacaktır. Trafik ışıkları, gereksiz gecikmeleri en aza indirmek için ışıklardaki bekleme süresini ayarlayarak trafik akışını aktif olarak yönlendirebilir. Karayolu üzerinde birbirine bağlı araç konvoyları, birbiriyle iletişim kurarak yoldaki dalgalanmalardan arkadaki araçları uyarmak ve aralarındaki sabit mesafeyi korumak için mini bulut platformları oluşturabilir. Ayrıca, V2V ve V2I yenilikleri otonom araçların sürüş algoritmalarını daha güvenli ve daha güvenilir hale getirmeye yardımcı olabilir.[162]

5G'nin yayılımıyla bir yerleşim yerinde, ağ geçitleri kullanılarak ortak kurallar ve protokoller çerçevesinde yönetilen tek bir ağ yapısı oluşturulabilir. Ağ

[161] " How 5G will Impact the Transportation Industry", https://www.business.att.com/learn/tech-advice/how-5g-will-impact-the-transportation-industry.html# (21.03.2021)
[162] A.g.k.

protokollerini bu şekilde birleştirmek, farklı erişim noktaları arasında bağlantı uyumlu bir araçla seyahat ederken haberleşmenin sorunsuz bir şekilde sağlanmasını mümkün kılacaktır. 5G yaygınlaştıkça ve bu sayede mevcut kablosuz ağlar birbirine bağlandıkça, ulaşım sistemlerinde gerçek zamanlı ve uçtan uca bir görünürlük sağlanabilecektir. Bu görünürlük özelliğiyle, insanların ve trafiğin birleşik hareketine dair daha fazla bilgi sunularak, şehirlerin günlük trafik akışlarının planlanmasına ve gerçek zamanlı ulaşım kapasitesinin daha kolay tahmin edilmesine olanak tanınacaktır. Benzer şekilde, bir yerleşim yerinin her noktasında bulunan 5G ağları, filo şirketlerinin araç ve kamyonlarından tutarlı telemetri (uzaktan ölçüm) verilerini almasını kolay kılacaktır. Gerçek zamanlı olarak sunulan bu veriler, araç konumu ve hızından yakıt tüketimi ve bakım ihtiyacına kadar her şeyin takip edilmesini sağlayacaktır.

2.6.7.2 Sağlık

Yüksek hızlı bağlantı özelliği, akıllı yönetime imkan sağlaması ve veri kapasitesi ile 5G sistemleri; görüntüleme, teşhis, veri analitiği ve tedavi dahil olmak üzere sağlık sektörüne yönelik hizmetlerde yeni imkanlar sunacaktır. Bilindiği üzere nesnelerin interneti (IoT), fiziksel nesneler, makineler, insanlar ve diğer cihazlardan oluşan, akıllı uygulamalar ve hizmetler yoluyla veri alışverişi yapmak için bağlantı ve iletişim imkânı sağlayan bir ağ yapısıdır. IoT kavramının sağlık sektörüne ilişkin hizmetlerin önemli bir parçası olacağı ve "tıbbi nesnelerin interneti" (Internet of Medical Things) olarak adlandırılacağı düşünülmektedir. Bu kavramın içeriğinde; klinik giyilebilir cihazlar ve uzaktan sensörler gibi ekipmanların yanı sıra, hayati belirtiler, fiziksel aktiviteler, kişisel güvenlik ve ilaç kullanım takibi gibi tıbbi verileri izleyen ve bu verileri elektronik olarak ileten cihazlar bulunur. Bu cihazlar tele-sağlık adı altında uzaktan teşhis ve tedavi hizmetleri ile beraber, yüksek çözünürlüklü video konferans servisi ve uygun fiyatlarla kaliteli bakım hizmeti sunacaktır. Ayrıca, bu cihazlar tarafından bilgilerin doğru bir şekilde yorumlanması ve hassas analizler elde edilmesi için yüksek miktarlarda veri üretimi gerçekleştirilir. Bununla beraber kritik tıbbi işlevler, birkaç milisaniye gibi düşük gecikme süreleri

ile yüksek güvenilirlik ve kullanılabilirlik gerektirir. Bu bağlamda 5G, bu gereksinimleri mümkün mertebe karşılayacak ve tıbbi bakımı iyileştirmek için tutarlı ve güvenilir kullanıcı deneyimleri sağlayacaktır.[163]

Dijital tıbbın getirilerinden biri, dizayn edilecek olan bir bulut sistemi üzerinden görüntülere uzaktan erişerek ve bilgileri coğrafi alanlar arasında hızlı bir şekilde paylaşarak zamanı ve mesafeyi minimize etme yeteneğidir. Bu yetenek sayesinde ülkenin herhangi bir yerinde bulunan bir doktor, tıbbi bir vakada bölgesel veya küresel boyutta ikinci bir görüşe ihtiyaç duyduğunda, görüntü veya test sonucunu başka bir doktora iletebilir ve o kişinin tıbbi durumla ilgili görüşlerini alabilir. Bu durum, doktorların ihtiyaç durumunda uzman görüşlere kolaylıkla erişmesine yardımcı olur. Bununla birlikte kırsal alanlar ve yetersiz hizmet alan bölgeler ile üst düzey hizmet alan kesimler arasındaki hizmet kalitesi uçurumu azaltılmış olacaktır.[164]

Yeni uygulamalarla izleme cihazlarının ve giyilebilir tıbbi ekipmanların kullanımında yaşanacak artış, hastalık teşhisinde önemli gelişmelere zemin hazırlayacaktır. Kalp-damar hastalıkları, diyabet veya kanser gibi ciddi kronik sağlık sorunlarından muzdarip hastalar için uzaktan izleme cihazları, hayati belirtileri ve kan değerlerini takip edebilir ve bu bilgileri elektronik olarak sağlık hizmeti sağlayıcılarına iletebilir. Bu şekilde erken uyarı sistemiyle ciddi bir durum vuku bulmadan, kapsamlı bağlantı ve ekipmanlar ile hastaya müdahale edilebilecektir. Parkinson hastalığı üzerine araştırmalar yapan Micheal J. Fox vakfı, bu rahatsızlığa ilişkin titremeleri izleyen cihazlarla ilgili çalışmalara öncülük etmiştir. Bu çalışmalarda, hastaların titreme sayısı ve süresine ilişkin beyanlarına bağlı kalmak yerine gerçek zamanlı ve daha güvenilir veriler sağlayan giyilebilir hareket sensörlerinin kullanımına vurgu yapılmaktadır. Bu özellikler mevcut 4G şebekeleri ve cihazları ile kamuya sunulmuş olsa da izleme altyapısını genişletecek ve

[163] Darrell M. West, "How 5G Technology Enables the Health Internet of Things", *Center for Technology Innovation at Brookings,* (2016), s.6.
[164] A.g.k., s.7.

makineler arası iletişimi oldukça kolay kılacak olan 5G teknolojisiyle yeni bir boyut kazanacaktır.[165]

5G teknolojisi ile gecikme süreleri minimum seviyelere düşürüldüğünde uzaktan ameliyat (remote surgery) mümkün hale gelecektir. Bu konuda Çinli doktorlar 5G teknolojisini kullanarak dünyanın ilk uzaktan tıbbi operasyonunu tamamlamıştır. Bu operasyon en son teknolojiye sahip olan Fujian eyaletinde bir hayvan üzerinde gerçekleştirilmiştir. Doktor Liu Rong, 50 km uzaklıktaki bir hastanede bulunan robotik kolları uzaktan kontrol etmek için 5G bağlantısını kullanmıştır. Bu teknolojiyle, operasyonun net ve gerçek zamanlı görüntüsünün doktor tarafından görülmesi ve doktorun asistanları ile iletişim kurabilmesi sağlanmıştır. Operasyonda test hayvanının karaciğerinden bir parça on dakikadan daha kısa bir sürede çıkarılarak tele-cerrahi başarılı ve düzgün bir şekilde tamamlanmıştır. Ayrıca operasyona katılan bir diğer doktor Liu Jingfeng, gerçekleştirilen bu ameliyatın 5G teknolojisinin uzaktan tedavide kullanım için uygun olduğunun bir kanıtı olarak görülmesi gerektiğini belirtmiştir.[166]



Şekil 2.25 Çin'de 5G teknolojisiyle gerçekleştirilen ilk uzaktan ameliyat[167]

[165] Darrell M. West, "How 5G Technology Enables the Health Internet of Things", s.7.
[166] "5G remote Surgery Performed in China", http://www.china.org.cn/china/2019-01/20/content_74391295.htm (14.03.2021)
[167] "Should We Even Be Talking About 6G?".

Sağlık hizmetleri dünyasını yaratıcı yollarla birbirine bağlamak için çeşitli sektörlerde 5G aracılığıyla önemli fırsatlar sunulacaktır. Mobil cihazların, sensörlerin ve uzaktan izleme ekipmanlarının kullanımı artacak ve dijital teknolojinin kullanılması yoluyla görüntüleme, tanı veya tedavi alan hastalarda çarpıcı ilerlemeler olacaktır. Bununla birlikte, tüm bunların gerçeğe dönüşmesini sağlamak için uçtan uca bir sistemi kolaylaştıracak çalışmaların yapılması gerekecektir. Cihazlar, birlikte çalışabilir özellikte olmalı, güvenli yollarla ağlara ve bulut platformuna bağlanabilmelidir. Bu şekilde, sağlık kuruluşları ve hastaların sağlıklı yaşam ve sağlık hizmetleri noktasında dijital yeniliklerin avantajlarından yararlanması sağlanmış olacaktır.

2.6.7.3 Üretim

Üreticiler, imalat süreçlerini kolaylaştırmak, genel giderleri azaltmak ve gelirleri artırmak için mevcut IoT ve bulut teknolojisini kullanmaktadırlar. Ayrıca yapılan hesapların doğruluğunu ve kesinliğini sağlamak için ürün izleme mekanizmaları yoğunlukla tercih edilmektedir. Bunların yanında gerçek zamanlı geri bildirim sağlamak, nakliye ve depolama koşullarını optimize etmek, onarım ve arıza önleyici bakım uyarılarını almak amacıyla IoT cihazlarının üretim sektörüne entegre edilmesi ve bu şekilde akıllı fabrikaların oluşturulması hedeflenmektedir.

Üretim sektöründe robot otomasyonunu yaygınlaştırarak geleneksel çizginin dışına çıkmak için kablolu iletişim yerine kablosuz iletişimi etkin kılmak gerekecektir. Gelişmiş makineler ve robotlar, performansı değerlendiren, üretim programlarını yöneten, malzemelerini koruyan ve fabrika katındaki tüm etkinlikleri düzenleyen, buluttaki yüksek güçlü analitik motorlara bağlı çok çeşitli sensörlerle donatılmıştır.[168] Bu noktada 5G ve IoT teknolojisi üretimdeki ilerlemeleri iyileştirmenin ve geliştirmenin anahtarı olacaktır. 5G ağları üreticilere otomasyon, yapay zeka, artırılmış gerçeklik ve IoT gibi teknolojilerden faydalanarak olası teknik

[168] PricewaterhouseCoopers (Pwc Global), "How the New Wireless Standard Can Accelerate Automation" *5G in Manufacturing,* (2020), s.3.

sorunların en aza indirilmesine ve akıllı işletmelerin inşa edilmesine olanak verecektir.

Ultra yüksek veri hızı, birkaç milisaniyelik gecikme süresi ve yüksek kapasite imkanı sunan 5G teknolojisinin üretim sektörüne öngörülen etkileri şu şekilde özetlenebilir:[169]

- Makineler, envanter ve üretimle ilgili gerçek zamanlı verilerin yakalanması, şirketlerin üretim modellerini çok daha ayrıntılı bir şekilde analiz etmesine olanak tanıyacaktır. Bu bilgiler ışığında, fabrika faaliyetlerinin doğru sıralanması sağlanabilir ve akışı en üst düzeye çıkararak üretim döngüleri sorunsuz hale getirilebilir.
- 5G'nin potansiyel yoğunluğu, hızı, geniş bant kapasitesi ve düşük gecikme süresi önemli ölçüde esneklik sağlayacaktır. Araçlar ve robotlar hızlı bir şekilde yeniden kullanılabilir. Bu durumda verimlilik artar ve talep üzerine toplu özelleştirme ve üretimin mümkün olacağı bir ortam oluşturulmuş olur.
- 5G, fabrika altyapısının, operasyonel teknolojinin ve kaynakların kurumsal bilişim sistemleriyle entegrasyonunu sağlayacak ve fabrika süreçlerinin daha fazla optimizasyonuna ve uzaktan kontrolüne olanak tanıyacaktır.
- Daha yoğun sensör dizileri, şirketlerin ekipman durumunu çok daha yakından izlemesini kolaylaştıracaktır. Bu avantaj, gerektiğinde programlı bakım yapılmasına, sorunlar ortaya çıkmadan önce planlanmamış bakım ihtiyacının tahmin edilmesine ve karmaşık ekipman tedarikçileri tarafından gerçekleştirilen uzaktan teşhisin geliştirilmesine imkan tanıyacaktır.
- Mevcut geniş sensör yelpazesi ve 5G'nin neredeyse anlık yanıt süresi, daha az kişiye ihtiyaç duyulan, acil durum kapatma sinyallerine daha hızlı yanıt veren ve önemli ölçüde daha güvenli bir üretim ortamı sunacaktır.

[169] PricewaterhouseCoopers (Pwc Global), "How the New Wireless Standard Can Accelerate Automation", s.4.

2.6.7.4 Enerji

Enerji sektöründe özellikle akıllı şebekeler, IoT teknolojisinin yaygın uygulama sahalarından bir tanesidir. Bu uygulamada elektrik şebekesinin, transformatörlerden başlayıp güç hatlarına ve ev tipi sayaçlara kadar uzanan iletim sistemlerindeki bütün bileşenleri iki yönlü iletişim yapabilen sensörlere sahip olacaktır. Akıllı şebeke sisteminin elektrik iletim ve dağıtım şirketleri tarafından kullanılmasıyla, dağıtım daha verimli bir şekilde yönetilebilir, bakım ve onarım noktalarında proaktif olunabilir ve kesintilere daha hızlı yanıt verilebilir.[170]

Akıllı şebeke sistemleri, güç şebekelerinin kararlılığını, güvenliğini ve işletim verimliliğini artırmak amacıyla geleneksel güç sistemlerini bilgi iletişim ve kontrol teknolojisiyle entegre edecektir. Haberleşme sistemlerinin akıllı şebekelerde kullanımı; güç üretimi, dönüşümü, iletimi, dağıtımı ve tüketimini içine alan geniş bir yapıyı kapsamaktadır. Güç üretim tesisleri, sistem ve işletim verimliliğini artırmak için güç yönetimi ve kontrolünü dijitalleştirecektir.

Enerji sektörünün dijitalleştirilmesindeki temel amaç; yüksek kapasiteli, yüksek hızlı, gerçek zamanlı, güvenli ve istikrarlı bir iletişim ağı üzerinden güç sistemlerinin verimliliğini artırmaktır. Bilindiği üzere 5G, veri göndermek ve almak için kullanılan spektrum miktarını büyük ölçüde artıracak ve bir entegratör gibi hareket ederek akıllı şebekelerin çeşitli gereksinimlerini destekleyecektir. 5G, fiber optik ve kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojilerinden daha verimli ve daha hızlıdır. Ayrıca ultra yüksek bant genişliği ile geniş ve kesintisiz kapsama alanı gibi avantajlara sahiptir ve teknoloji dünyasında geniş bir ağ yapısı olan bağlantılı akıllı şehirler oluşturma hususunda kritik bir unsurdur. Bahsedilen tüm bu avantajlarıyla 5G, akıllı ve dijital şebekeler için ideal bir teknoloji haline gelmektedir.

[170] Attaran, "5G Wireless", s.20.

2.6.7.5 Medya ve Eğlence

İletim hızı, kalitesi ve güvenilirliğindeki önemli iyileştirmeler sayesinde 5G, içerik, dağıtım ve son kullanıcı teknolojilerinde yeniliği devam ettirerek medya ve eğlence sektöründe ezber bozan bir etkiye sahip olacaktır. Daha düşük gecikme süresi ve azalan maliyet, yayınların ve artırılmış gerçekliğe sahip gösterilerin mobil cihazlarda canlı akışına imkan tanıyacaktır. 5G'nin sahip olduğu daha yüksek hız ve bant genişliği ise eğlence endüstrisinin daha kişiselleştirilmiş ve üç boyutlu deneyimler oluşturmasına izin verecektir. Bütün bu gelişmelerle birlikte spor, oyun ve reklamcılık alanlarında da köklü bir değişim ve dönüşüm yaşanması beklenmektedir. Uluslararası İş Makineleri (International Business Machines- IBM) adlı kuruluşça yapılan Küresel Telekom ve Medya Tüketici Anketi aşağıdaki eğilimleri ortaya çıkarmıştır:[171]

- Kullanıcıların yeni 5G teknolojisi konusunda oldukça heyecanlı oldukları ortaya çıkmıştır. Kullanıcılar için 5G'nin en önemli faydası, mobil video akış kalitesini iyileştirmesi ve kullanıma sunulduğunda ultra yüksek çözünürlüklü (UHD) video formatında video izleme imkanı sunmasıdır.
- Üç boyutlu medya, kullanıcıların büyük ölçüde ilgisini çekmiştir. Üç boyutlu içeriklere (görsel-işitsel dijital deneyimler) yönelik kullanıcı heyecanı giderek artmaktadır. Bu gelişmiş deneyimler sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve 360º video gibi gelişen teknolojilerle mümkün hale getirilmektedir.
- e-Spor temel eğlence türü olarak ortaya çıkacaktır. Dünya çapında hem izleyicilerin hem de oyuncuların ilgisini çekerek popülerlik kazanan e-spor, yayıncılık ve geleneksel sporlar için ciddi bir rakip haline gelecektir.

İnternet teknolojileri, kullanıcılara geleneksel yayıncılık ve kablolu TV'ye alternatif olacak bir seçenek sunmakta ve geleneksel endüstrilere rakip olacak video akış platformlarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeple beşinci nesil mobil haberleşme sistemlerinin sunacağı yüksek hizmet kalitesi sayesinde artacak olan görsel-işitsel imkanların mevcut durumu etkileyeceği düşünülmektedir.

[171] "What Consumers Expect from 5G Entertainment", https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/immersive-5g-entertainment (13.03.2021)

Geçtiğimiz birkaç yılda, artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) gibi uygulamalar, IoT gelişimlerinin sonraki aşamalarını şekillendirecek ve daha düşük bir maliyetle geniş bir kapsam ve kapasite talebini karşılayacak teknolojiler olarak tanıtılmıştır. AR, metin, grafik, resim ve video şeklindeki IoT verilerinin akıllı telefonlar, tabletler veya akıllı gözlükler kullanılarak görüntülenmesini sağlar. Günümüzde birçok AR uygulaması kullanıcı deneyimine sunulmuştur. Yakın gelecekte ise AR, VR ve IoT teknolojilerinin entegrasyonu ile geliştirilecek uygulamaların yaygın bir şekilde kullanılacağı öngörülmektedir.

5G'nin yüksek kalitede veri akışını desteklemedeki rolünün, yoğun alanlarda yüksek veri hızlarını desteklemekle sınırlı olmayacağı, aynı zamanda yayın ve medya dağıtım platformlarının geliştirilmesinde de önemli bir role sahip olacağı düşünülmektedir. Örneğin, gelişen teknolojiyle beraber kullanıcı alışkanlıkları değiştikçe; evde, işyerinde veya farklı bir mekanda izlenen lineer TV yayınlarının yerini catch-up TV, internet TV, Web TV ve OTT TV gibi uygulamalar almaktadır. Bu tür uygulamalar ve bu uygulamalar üzerinden yayınları izlemek için kullanılan cihaz sayısı giderek artmaktadır. Bu durum, yayıncılara ürettikleri içerikleri uygun maliyetli bir şekilde dağıtım yapmaları noktasında kolaylık sağlamaktadır.

5G'nin yaygın kullanımı ile beraber farklı ağ teknolojilerinin kesintisiz entegrasyonu mümkün kılınacaktır. Böylece kullanıcılar bu farklı ağlar arasında rahatlıkla hareket edebilecekler ve video içeriklerini kesintisiz olarak kullanabileceklerdir. Günümüzde dağıtım ağları (hücresel ağlar, uydu, karasal yayınlar vb.) büyük ölçüde ayrı ve birbirinden bağımsız olduğundan, 5G ağ yapısı tek noktaya yayın (unicast), çok noktaya yayın (multicast) ve geleneksel yayın (broadcast) gibi bütün dağıtım modlarından yararlanabilen tek bir sistem yapısının geliştirilmesini kolaylaştırabilir.[172]

[172] BEREC, "Study on Implications of 5G Deployment on Future Business Models", s.38.

5G'nin yüksek veri oranlarını karşılama gücü, özellikle medya ve eğlence sektöründe değerli olacaktır. Ericsson tarafından yapılan 5G Hazırlık Anketine göre medya ve eğlence, operatörlerin 5G ile ilgili odaklandıkları en önemli sektörlerden biridir. Ayrıca bu ankette, mobil cihazlarda yüksek kaliteli akış (streaming), medya ve eğlence sektöründeki en önemli kullanım alanlarından biri olarak öne çıkmıştır.[173] Kısa vadede kullanıcıların medya ve eğlence sektörüne yönelik geliştirilmiş veri hızlarını kullanma isteği ile fazla veri yoğunluğuna sahip hizmetlerin ortaya çıkma potansiyelinin, 5G'nin kullanımını artıracak kilit noktalar olacağı düşünülmektedir.

2.6.8 5G ve Olası Zorluklar

5G'nin sahip olduğu birçok yenilik ve sağlayacağı düşünülen kolaylıkların yanı sıra kitlesel olarak dağıtımına ve kullanımına başlanmasıyla birlikte çeşitli alanlarda birtakım zorluklarla karşılaşacağı öngörülmektedir. Bu zorluklar şu şekilde ifade edilebilir:[174]

- **Spektrum Yönetimi:** 5G'nin büyümesini kolaylaştırmak ve frekans tahsisini gerçekleştirebilmek için kurumların, hem mevcut kullanıcıların ihtiyaçlarını dengelemesi hem de sıkışık bir durumda olan orta bantlarda spektrumun kullanılabilirliğini sağlaması gerekebilir. Ayrıca, spektrum kullanımını optimize etmek için yeni teknolojiler geliştirilmesine ihtiyaç duyulabilir.

- **Altyapı Yayılımı**: Düşük gecikme ve yüksek bant genişliğine ihtiyaç duyan uygulamalar, fiber optik kablolar ve küçük boyutlu kurulum yapısına sahip küçük hücreleri (small cells) içinde barındıran önemli bir altyapıya ihtiyaç duyacaktır. Bu kurulum pahalı olabilir ve kalifiye işgücü gerektirebilir. Ayrıca yerel izin, planlama ve tedarik noktalarında zaman alabilir.

[173] BEREC, "Study on Implications of 5G Deployment on Future Business Models", s.38.
[174] U.S. Government Accountability Office-GAO, "Science & Tech Spotlight: 5G Wireless", *Science, Technology Assessment,and Analytics,* GAO-20-421SP (2020), s.2.

- **Dijital Bölünme:** 5G dağıtımının yoğun kentsel alanlarda başlaması beklenmektedir. Bundan dolayı, kırsal ve düşük gelirli alanlar 5G'ye ve sunduğu avantajlara daha az erişim sağlayacaktır. Sonuç olarak, bu durum kullanıcılar arasında teknolojik anlamda bir uçurumun oluşmasına neden olabilir.

- **Gizlilik:** 5G ağları, çok daha kesin konum verilerine izin verebilir çünkü 5G şebekeleri, kullanıcı cihazları ile baz istasyonları arasında kilometrelerce mesafe olabilen önceki nesil mobil haberleşme teknolojilerinin aksine, hücrelerin birbirine çok daha yakın olduğu bir tasarım yapısına sahiptir. Bu sebeple, 5G teknolojisi tarafından sağlanacak olan bilgilerin hata oranlarının çok düşük seviyelerde olacağı beklenmektedir. Bu kesin konum verileri, bir yandan konum tabanlı servislerin daha verimli çalışmasını sağlarken diğer yandan sağladığı bilgilerin kapsamı nedeniyle kullanıcı gizliliğini de riske atabilmektedir.

2.6.9 5G ve Güvenlik

5G sistemlerinde, ağı yönetmek ve kontrol etmek için daha fazla yazılım kaynaklı teknolojiler kullanılacaktır. Bu yazılımsal teknolojilere; SDN, NFV, Ağ Dilimleme ve Çok Erişimli Uç Bilişim örnek olarak verilebilir. Bu durum, 5G ağlarında güvenliğin sağlanması noktasında birtakım zorluklara yol açabilir ve bu ağları farklı siber tehditlere karşı savunmasız kılabilir. Örneğin, ağ dilimleme teknolojisinin kullanıldığı 5G sistemlerinde, ağın farklı dilimlerine farklı güvenlik düzeylerinin uygulanması gerekebilir. Ek olarak, küçük hücre planlaması ile 5G baz istasyonu sayısında önemli bir artış meydana gelecektir. Buna bağlı olarak 5G şebekesine bağlı cihaz sayısında da artış olacaktır. Sonuç olarak, baz istasyonu ve şebekeye bağlı cihaz sayısının artması, potansiyel siber ve fiziksel saldırıların

meydana gelmesi için daha fazla sayıda erişim noktası olacağı anlamına gelmektedir.[175]

Birleşik Krallıkta Aralık 2018'de 5G ağ güvenliği ile ilgili olarak hazırlanan "5G Test Ortamı ve Denemeleri" adlı teknik raporda belirtildiği üzere, 5G sistemlerinin karşılaması gereken dört güvenlik prensibi şu şekilde özetlenebilir:[176]

- **Katmanlar arası güvenlik:** Farklı güvenlik teknolojileri kendi alanlarında etkili olsa da bu teknolojileri farklı güvenlik katmanları üzerinde koordine etmek için birleşik bir çerçeve gerekmektedir. Kısaca, bir 5G ağının farklı bölümlerine (yazılım, fiziksel altyapı veya cihazlar) uygulanan güvenlik özellikleri arasında koordinasyon olmalıdır.

- **Uçtan uca güvenlik:** 5G sistemlerinde ağ yapısının dağıtılmış ve oldukça esnek olmasından dolayı birtakım zorluklarla karşılaşılması muhtemeldir. Önceki mobil iletişim sistemlerinde olduğu gibi radyo erişimi ve taşıma ağ omurgası da dahil olmak üzere, kullanıcı cihazları ile çekirdek ağın son noktası arasındaki bütün iletişim yollarında güvenliğin sağlanması esastır. Özetle, ağ kullanıcısı ile çekirdek ağ arasında güvenli bir bağlantı olmalıdır.

- **Alanlar arası güvenlik:** Birlikte çalışabilirlik; ağlar, hizmetler ve ekipmanlar dahil olmak üzere birden fazla yetki alanının bir arada bulunmasından kaynaklı birtakım zorlukları kendi içinde barındırır. Sanallaştırma teknolojisi sağlayıcıları gibi 5G sistemlerine dahil olan yeni faktörlerle beraber, her biri benzersiz ve farklı performans gereksinimlerine sahip çok çeşitli kullanım senaryoları nedeniyle entegre sistemlerin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için uyum ve iş birliğine ihtiyaç vardır. Ek olarak katmanlar arası güvenlik birden çok etki alanında da sağlanır. Etki alanları arası güvenliğin, katmanlar arası güvenliğe eş değer olmadığı bilinmelidir. Bu sebeple her bir

[175] Department for Digital, Culture, Media & Sport, "5G Network Architecture and Security", *DCMS Phase 1 5G Testbeds & Trials Programme,* Collaborative paper, (2018), s.10.
[176] A.g.k.

alanda katmanlar arası güvenlik protokollerinin uygulanmasına ihtiyaç vardır. Özetle, 5G'nin farklı kullanım alanlarına uygulanan güvenlik özellikleri arasında koordinasyon olmalıdır.

- **Tasarım güvenliği:** Güvenlik, tasarım sürecinin bir parçası olmalıdır ve güvenlik çözümleri erkenden devreye alınmalıdır. Bu tür bir yaklaşımla sistem tamamen konuşlandırıldıktan ve işlevsel hale getirildikten sonra kolaylıkla çözülemeyecek olası güvenlik sorunları en aza indirilmiş olur.

2.6.10 Türkiye'de ve Dünyada 5G Çalışmaları

Mevcut mobil şebekelere kıyasla yüksek hız, düşük gecikme ve geniş kapasite avantajı sunan 5G ağları, hemen hemen bütün kıtalarda kullanıma sunulmaya başlanmıştır. 5G teknolojisindeki ilerlemenin hızı ve ölçeği bölgeden bölgeye önemli ölçüde değişirken, farklı mobil ağ operatörleri bulundukları konumlarda farklı standartlar çerçevesinde kablosuz frekans tahsislerini gerçekleştirerek altyapı çalışmalarına devam etmektedir.

Şebeke izleme, test ve güvence konusunda uzmanlık şirketi olan Viavi tarafından yayınlanan rakamlara göre, Ocak 2020'de küresel ölçekte 34 ülke ve 378 şehirde 5G şebekesi konuşlandırılırken, bu sayı Ocak 2021 itibarıyla ticari 5G ağlarının 61 ülke ve 1336 şehirde konuşlandırıldığını tahmin etmektedir. Diğer bölgelerde GSM Birliği (GSMA), 5G ağlarının önümüzdeki beş yıl içinde hızla büyüyerek 2025 yılına kadar 1,2 milyar bağlantıya ulaşacağını ve dünya nüfusunun üçte birini kapsayacağını öngörmektedir.[177]

[177] "Who's got 5G? A Progress Report", https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/whos-got-5g-progress-report/ (30.03.2021)



Şekil 2.26 5G'de lider ülkeler[178]

2.6.10.1 Türkiye

Türkiye'de Nisan 2016'da Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK), araştırma ve geliştirme firmalarını, operatörleri ve önde gelen akademisyenleri ülkedeki 5G gelişimini ele almak üzere bir araya getiren ve "5GTR Forumu" olarak da bilinen Türkiye 5G Forumu'nu kurmuştur. Bu forum altında dört çalışma grubu oluşturulmuştur. Sürdürülecek olan faaliyetlerin kısa sürede verimli olmasını sağlamak için oluşturulan bu organizasyonun çatısı altında Çekirdek Ağ, Fiziksel Ağ, Hizmet ve Uygulamalar ile Standardizasyon çalışma grupları yer almaktadır. Bu kapsamda 11 Mayıs 2017 tarihinde "5G'ye Giden Otomotiv Sektörü Çalıştayı" düzenlenmiştir. 5GTR Forum üyeleri 2018 yılında yaptıkları ortak çalışmalar neticesinde "5G ve Ötesi Beyaz Kitap" isimli araştırma raporunu hazırlamışlardır. 5G'ye ilişkin bu teknik raporda ağ ve fiziksel katmanlar ile bu katmanlar üzerinde yürütülecek hizmetler ve uygulamalar hususunda bilgiler sunulmuştur. Bunun yanı

[178] Viavi, "The State of 5G", *Courtesy of Viavi Solutions,*(2021), s.1.

sıra, BTK tarafından 5G'nin dikey sektörler üzerine etkileri konusunda "5G ve Dikey Sektörler" raporu yayınlanmıştır.[179]

Şubat 2019'da BTK, ülkenin üç mobil operatörü Turkcell, Vodafone ve Türk Telekom'un İstanbul, Ankara ve İzmir'de farklı frekans bantlarında 5G denemelerini gerçekleştirmek üzere yaptıkları başvuruyu onaylamıştır. 5G ile ilgili olarak test denemelerinin yapılması amacıyla operatörlere 3.5, 3.7 ve 26 GHz bantlarında test lisansları verilmiştir. Bu kapsamda Ağustos 2019'da Turkcell'in dünya 5G hız rekorunu kırdığı bir denemede 1000 MHz bant genişliği kullanarak 3.5 GHz frekansında 5G özellikli bir akıllı telefonda 2.283 Gbit/sn hızına ulaştığı bildirilmiştir. Mart 2020'de Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, İstanbul Havalimanı'nın 5G şebekesi ile yapılandırılıp hizmete sunulacağını duyurmuştur.[180]

Ayrıca Türkiye'de ticari faaliyet gösteren şebeke operatörlerinin kullandığı mobil ve geniş bant haberleşme sistemlerinin Ar-Ge ve mühendislik faaliyetlerini gerçekleştirmek, söz konusu sistemlerin ve yedek parçalarının üretimini, test, montaj ve entegrasyonunu, satış ve pazarlamasını, ithalat ve ihracatını yapmak, eğitim, bakım ve destek hizmetini vermek amacıyla Savunma Sanayi Teknolojileri A.Ş. (SSTEK) tarafından 20 Nisan 2017 tarihinde Ulak Haberleşme A.Ş. kurulmuştur. Kurulan bu şirketin vizyonu, gelişen teknolojilerle beraber artan iletişim ihtiyaçlarına cevap verebilecek uçtan uca, sürdürülebilir ve güvenilir iletişim altyapıları için LTE ve 5G ürün ve teknolojilerini sunmak ve iletişim teknolojilerinin geleceğini şekillendirecek küresel bir kurum olmaktır.[181]

Ulak Haberleşme A.Ş; 5G ve ötesi için bahsedilen mutlak gereklilikleri yerine getirmek amacıyla Yazılım Tanımlı Şebeke (SDN) , Ağ Fonksiyonlarının

[179] ITU, "5G Country Profile Turkey", *ITU Regional Forum,* 1/1 (2020), s.5.
[180] A.g.k., s.9-10.
[181] "Ulak Haberleşme A.Ş.", https://www.ulakhaberlesme.com.tr/index.php/tr/hakkimizda/sirket-profili (14.08.2021)

Sanallaştırılması (NFV), Nesnelerin İnterneti (IoT), Milimetrik Dalga ve M2M Haberleşmeleri gibi Yüksek Frekans Spektrum Haberleşmesi alanlarında çözümler geliştirmektedir. Bu kapsamda Ulak Haberleşme A.Ş. çatısı altında yürütülen üç temel proje bulunmaktadır. Bunlar MİLAT, ULAK ve ÇINAR projeleridir. Milli Ağ Teknolojileri veya kısaca MİLAT projesiyle yerli olarak tasarlanan algoritma ve yazılımlarla en üst düzeyde bilgi güvenliğinin sağlanması hedeflenmektedir. 4.5G LTE Macrocell Baz İstasyonu projesiyle birlikte yüksek teknolojili haberleşme sistemlerinin yerli imkanlarla tasarlanması ve 5G baz istasyonu ile ilgili Ar-Ge çalışmalarının yürütülmesi ULAK projesinin hedefleri arasında yer almaktadır. ÇINAR projesi kapsamında ise, SDN ve NFV tabanlı 5G gelişmiş çekirdek şebekesinin (Evolved Packet Core - EPC) geliştirilmesi sağlanacaktır.[182]

2.6.10.2 Çin Halk Cumhuriyeti

Çin, dijital dönüşümü destekleyici ve ilerletici bir felsefeye sahip olan ülkelerden biridir. 2019 yılı Haziran ayında, Çin Sanayi ve Bilgi Teknolojisi Bakanlığı (China's Ministry of Industry and Information Technology-MIIT) tarafından, ülkede ticari 5G ağlarının başlatılması için resmi olarak lisanslar verilmiştir. Çin kaynaklı raporlara göre; China Mobile, China Telecom ve China Unicom'un Kasım 2019'da 5G hizmetlerini başlatmasıyla birlikte, ülkede haftalık 10.000'den fazla 5G baz istasyonu kurulması amaçlanmış ve yıl sonu için 600.000'in üzerinde baz istasyonu inşa edilmesinin planlandığı öne sürülmüştür. Bu altyapı, frekans spektrumunun düşük ve orta bant bölümlerini kullanarak 1 Gbit/sn'ye kadar indirme hızları sunarak, Çin'in 300 büyük şehrinin neredeyse tamamını kapsayacaktır. Raporlar, Çin'de 5G kullanıcılarının Temmuz 2020'nin sonunda 88 milyonu geçtiğini ve bu noktada küresel kullanıcıların yüzde 80'ini temsil ettiğini göstermektedir.[183]

[182] "Genişbant Teknolojilerinde Milli ve Global Çözümler", https://www.ulakhaberlesme.com.tr/index.php/tr/ (14.08.2021)
[183] "Who's got 5G? A Progress Report"

2.6.10.3 Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri de 5G teknolojisi açısından hız kazanan ülkelerden biridir. ABD'deki üç ana mobil ağ operatörü AT&T, Verizon ve T-Mobile 5G ağ bağlantı çalışmalarını başlatmış olup 2021'de kapsama alanını genişletmeyi planlamaktadır. Verizon'un ultra geniş bant 5G'si şu ana kadar 36 ABD şehrinde resmi olarak mevcuttur. T-Mobile, 2019'da düşük bant (600 MHz) spektrumu üzerinde bir altyapı kurmadan önce milimetrik dalga temelli bir şebeke kurduğunu duyurmuştur. T-Mobile, nüfusun daha büyük bölümünü kapsamak için daha fazla baz istasyonu inşa ederek bağımsız (standalone) 5G şebekesinin verimini yükseltme çalışmaları yapmıştır. AT&T de 5G'yi hem milimetrik dalga spektrumu hem de düşük bant (850 MHz) ağ altyapısını kullanarak hızlı bir dağıtım gerçekleştirmiştir. Ayrıca, kapsamı en üst düzeye çıkarmak için daha önce 4G LTE tarafından kullanılan spektrum kısımlarını paylaşmak için çalışmalar yapmıştır. Gelinen son durumda, bu üç mobil operatör tarafından ülke çapında toplam 279 adet şehre 5G bağlantısının ulaştırıldığı bildirilmiştir.[184]

2.6.10.4 Güney Kore

Asya'da Güney Kore ve Çin, 5G çalışmalarını büyük ölçüde teşvik eden ve endüstride kullanmaya yönelik planlamalar yapan ülkeler olarak bilinmektedir. Güney Kore, 2019 yılı Nisan ayında yaptığı erken uygulamaların ardından 85 adet 5G bağlantılı şehirle birlikte 5G çalışmalarına öncülük etmiştir. Bu doğrultuda, 2022 yılına kadar tam teşekküllü bir 5G ortamı sağlamayı amaçlayan ülke yönetimi, 26 milyar dolara varan yatırım ile 5G çalışmalarını önemli ölçüde teşvik etmiştir. Güney Kore Bilim ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 5G'ye yönelik yapılan frekans ihalesinde 3.3 milyar dolar gelir elde edilmiştir. Ülkenin büyük mobil ağ operatörlerinden Korea Telecom, SK Telecom ve LG Uplus adlı şirketlere, aralarında hem orta banttan (3.4-3.7 GHz) hem de milimetrik dalga (mmWave) bantlarından (26-29 GHz) altı adet farklı frekans tahsisi yapılmıştır. Ağustos 2020'de yapılan 5G

[184] "Who's got 5G? A Progress Report"

testlerinde, Seul ve diğer altı büyük şehirde ortalama 5G indirme hızının 650 Mbit/sn'yi aştığı bildirilirken, bu değerin bir yıl önce 4G ağlarında yapılan benzer testlerden yaklaşık dört kat daha hızlı olduğu hesaplanmıştır.[185]

2.6.10.5 Birleşik Krallık

Avrupa'da 5G test ve dağıtım çalışmalarında öncü ülkelerden biri Birleşik Krallık' tır. Buna ilişkin olarak 2015'te ağ bağlantılarını geliştirmek amacıyla ölçüm, test ve rapor sunmak üzere Ulusal Altyapı Komisyonu (National Infrastructure Commission - NIC) kurulmuştur. Bununla birlikte, 2016 yılında söz konusu çalışmaların yapılması ve 2021 yılına kadar 5G denemeleri ile tam fiber altyapı kurulumu için 815.6 milyon Euro değerinde bir bütçe ayrılmıştır. Bu süre zarfında, OFCOM tarafından 5G'de kullanılacak frekans spektrumu ile ilgili planlamalar yapılmış ve ilk kez 2018'de 3.4 GHz spektrumunda 150 MHz bant genişliği tahsis edilmiştir. Bu doğrultuda, Ekim 2018'de EE şirketi tarafından Londra'ya yönelik ilk 5G denemelerine başlanmıştır.[186]

9 Mart 2020'de Birleşik Krallık hükumeti ile ülke genelinde hizmet veren dört mobil operatör arasında bir anlaşma imzalanmıştır. Yasal olarak bağlayıcı teminat içeren bu anlaşmaya göre operatörler, 5G mobil şebekesini 2025 yılı sonuna kadar ülkenin %95'ine ulaştıracaklarını taahhüt etmişlerdir. Ağustos 2020'de OFCOM, 700 MHz bandında 120 MHz ve 3.6-3.8 GHz bandında ise 120 MHz'lik bir bant genişliğinin ihale yoluyla tahsis edileceğini duyurmuş ve bu tahsisle ülke genelindeki mobil erişimin %18 artacağı bildirilmiştir. Ancak söz konusu ihale, COVID-19 salgını sebebiyle 2021 yılına ertelenmiştir. En son edinilen bilgilere göre, 2020 yılı sonunda ülke genelinde 54 şehirde 5G şebekesinin bulunduğu istatistiklere yansımıştır.[187]

[185] "Who's got 5G? A Progress Report"
[186] ITU, "5G Country Profile United Kingdom", *ITU Regional Forum,* 1/1 (2020), s.5.
[187] A.g.k.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDEKİ GELİŞMELERİN YAYINCILIK SEKTÖRÜ ÜZERİNE ETKİLERİ

3.1 YAYINCILIK SEKTÖRÜ

Haberleşme sistemlerinde yayın, geniş alıcı kitleye video ve ses gibi bilgilerin elektronik olarak gönderildiği iletişim biçimini ifade eden bir terimdir.[188] Yayıncılık sektörü ise canlı bir akışa sahip veya önceden kaydedilmiş program ve içeriklerin halka veya belirli bir izleyici kitlesine ulaştırılmasına odaklanır.[189] Yayıncılık alanında iki çeşit yayın iletim tekniği bulunmaktadır. Bunlar, radyo yayıncılığı ve televizyon yayıncılığıdır. Geleneksel yayıncılık faaliyetleri gerçekleştirilirken, bilgiler (içerik) üç farklı iletim yoluyla gönderilir:

- Radyo dalgaları (karasal ortam) vasıtasıyla
- Haberleşme uyduları vasıtasıyla
- Kablo aracılığıyla

Yayın stüdyolarında üretilen ve izleyiciye gönderilmek istenen içerik, birtakım teknik aşamalardan geçerek karasal vericilerle, uydu sistemleri vasıtasıyla veya kablo ortamından kitlelere ulaştırılır. Daha sonra alıcı kitle (radyo dinleyicileri ve televizyon izleyicileri), televizyon setlerini ve radyo alıcılarını kullanarak sinyalleri alır. Başlangıçta karasal ortamdan analog haberleşme teknikleriyle gerçekleştirilen yayıncılık faaliyetleri, dijital modülasyon ve kodlama tekniklerinin ortaya çıkmasıyla sayısallaşmaya başlamıştır.

[188] Owen Simon, "Broadcasting", *National Information and Communication Technology Authority,* (2021), s.1.
[189] "Broadcasting Industry", https://collegegrad.com/industries/broadcasting (26.03.2021)

Radyonun icadından bu yana kitlelerle iletişim kurabilme konusu, dünya toplumlarının ilgi odağı olmuştur. Her şey, Lee De Forest'in Metropolitan Opera Binası'ndan bir radyo programı hazırladığı 1910 yılında başlamıştır. Kısa süre sonra Wisconsin Üniversitesi deneysel bir radyo istasyonu geliştirmiş ve 1920'de ilk ticari radyo istasyonu yayına başlamıştır. Bu tarihten itibaren radyo yayıncılığı profesyonel anlamda yapılmaya ve yayılmaya başlamıştır.[190] Radyo yayınları için başlangıçta AM modülasyon tekniği kullanılmıştır. Ardından, AM yayınlarında kullanılan uzun dalga formatından kaynaklı enterferans problemlerinin sıklıkla yaşanması, başta Avrupa olmak üzere birçok dünya ülkesini FM modülasyonunu kullanmaya itmiştir. Yaşanan teknolojik yeniliklerle Avrupa'da Dijital Ses Yayıncılığı (Digital Audio Broadcasting - DAB) ve Kuzey Amerika'da Yüksek Çözünürlüklü Radyo (High Definition Radio – HD Radio) gibi standartlar geliştirilmiş olsa da günümüzde Türkiye de dahil olmak üzere dünyanın birçok ülkesinde FM radyo yayıncılığı halen kullanılmaya devam etmektedir.

Yayıncılık alanında yapılan ilk teşebbüsler radyo yayınları üzerine yoğunlaşsa da, televizyon yayıncılığının başlaması için uzun bir süre geçmemiştir. 1928 yılında General Electric ilk sunumu televizyon ekranlarına taşımış ve 1940'ta ilk resmi televizyon yayını gerçekleştirilmiştir. O tarihten günümüze kadar geçen süreçte birçok endüstri dalında olduğu gibi yayıncılık alanında da önemli gelişmeler yaşanmıştır.[191] İlk zamanlarda tercih edilen analog televizyon yayıncılığının yerini dünyanın birçok ülkesinde sayısal yayıncılık almıştır. Özellikle görüntü, ses ve video kalitesi noktasında büyük gelişmeler yaşanmış, standart çözünürlüklü (Standart Definition - SD) yayın kalitesinin yerini yüksek çözünürlüklü (HD), ultra yüksek çözünürlüklü (UHD - 4K) ve 8K gibi standartlar almaya başlamıştır. Ayrıca analog yayınların dijitalleştirilmesi adına çalışmalara devam edilmiş ve analog standartlar yerine sayısal karasal televizyonun yayın iletimi için bazı standartlar geliştirilmiştir. Dünyanın dört bir yanındaki yayıncılar iletim formatı ve teknolojisi olarak bu dört sistemden birini seçmiştir. Bu standartlar şunlardır:

[190] "Difference Between Communication and Broadcasting", https://communicationmgmt.usc.edu/blog/communication-and-broadcasting/ (25.03.2021)
[191] A.g.k.

- Avrupa yapımı Sayısal Video Yayını (Digital Video Broadcasting - DVB),
- Amerika yapımı Gelişmiş Televizyon Sistemleri Komitesi (Advanced Television Systems Committee – ATSC),
- Japon yapımı Sayısal Entegre Yayın Hizmetleri (Integrated Services Digital Broadcasting - ISDB),
- Çin yapımı Sayısal Multimedya Yayını'dır (Digital Multimedia Broadcast – DMB).

Yukarıda bahsedilen her bir yayın standardının karasal (terrestrial - t), uydu (satellite -s) ve kablo (cable - c) ortamları için uyarlanan formatları bulunmaktadır. Bu sebeple her bir ortamdan yapılan yayınlar, karasal yayıncılık, uydu yayıncılığı ve kablolu yayıncılık olarak adlandırılmaktadır. Bu yayın tipleri, sahip oldukları bütün özellikleriyle ülkeler ve yayıncılar tarafından tercih edilmektedir.

3.2 GENİŞ BANT HİZMETLERİ

Geniş bant terimi genellikle her zaman açık olan ve geleneksel çevirmeli (dial-up) erişimden daha hızlı olan yüksek hızlı internet erişimini ifade etmektedir. Geniş bant, aşağıda bahsedilen nedenlerden dolayı çevirmeli (dial-up) internet ağ hizmetinden farklı bir yapıya sahiptir[192]:

- Geniş bant hizmeti, daha yüksek hızda veri aktarımı sağlar.
- Geniş bant, büyük miktarlarda veri iletimi gerektiren hizmetlerde yüksek kaliteli internet erişimi sağlar.
- Geniş bant erişimi sabittir, telefon hatlarını engellemez ve internetin kullanılmak istendiği her durumda yeniden bağlanmaya gerek duyulmaz.

Geniş bant aşağıda yer alan birkaç yüksek hızlı aktarım teknolojisini içerir[193]:

- Dijital Abone Hattı (Digital Subscriber Line - DSL)
- Kablolu Modem

[192] "Types of Broadband Connections?", https://www.fcc.gov/general/types-broadband-connections (26.03.2021)
[193] A.g.k.

- Fiber
- Güç Hatları üzerinden Geniş Bant (Broadband over Powerlines - BPL)
- Kablosuz Mobil

Seçilen her bir geniş bant teknolojisinin sahip olduğu özellikler birkaç faktöre göre değişiklik gösterir. Bu faktörler, yaşanılan bölge (kentsel - kırsal), geniş bant internet erişiminin diğer hizmetlerle (telefon, eğlence veya uygulamalar) birleştirilmesi, fiyatı ve kullanılabilirliğini içerebilir.

3.2.1 Dijital Abone Hattı (DSL)

DSL, verileri hâlihazırda evlere ve işyerlerine kurulmuş olan geleneksel bakır telefon hatları üzerinden daha hızlı ileten bir kablolu iletim teknolojisidir. DSL tabanlı geniş bant, 144 kbit/sn'lik hızlarla 9 Mbit/sn'lik hızlar arasında değişen iletim hızı sunmuştur. DSL hizmetinin kullanılabilirliği ve hızı ev veya işyerinin, en yakın telekom şirketi tesisine olan mesafeye bağlı olarak değişiklik gösterebilir. İki tür DSL teknolojisi hizmete sunulmuştur. Birincisi, veri alma performansı iyi olan ancak veri gönderme noktasında düşük performansa sahip olan asimetrik dijital abone hattıdır (ADSL). Konut tipi yapılarda daha çok tercih edilmiştir. İkincisi ise, tipik olarak büyük işletmeler tarafından tercih edilmiş ve veri alma-gönderme performansı iyi olan simetrik dijital abone hattıdır (SDSL).[194]

3.2.2 Kablo Modem

Kablo modem, bir bilgisayar sistemini kablolu televizyon ağı üzerinden internete bağlayan bir cihazdır. Bu hizmetle, kablo operatörlerinin TV setine resim ve ses ileten aynı koaksiyel kabloları kullanarak geniş bant hizmeti sağlamasına olanak tanınmış ve artık çevirmeli bağlantıya ihtiyaç kalmamıştır. Genel olarak 30

[194] "Types of Broadband Connections?".

Mbit/sn hız değerlerine ulaşılmıştır. İletim hızları, kablolu modemin türüne, kablo ağına ve veri trafik yüküne bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.[195]

3.2.3 Fiber

Fiber optik teknolojisi, veri taşıyan elektrik sinyallerini ışığa dönüştürür ve bu ışığı bir insan saçı çapı kadar şeffaf cam elyaflardan gönderir. Fiber optik bağlantı, verileri DSL veya kablo modem hızlarını çok aşan, onlarca hatta yüzlerce Mbit/sn'lik hızlarla iletir. Tecrübe edilen hız değerleri, servis sağlayıcının fiberi bulunduğunuz noktaya ne kadar yaklaştırdığı ve kullanılan bant genişliği de dahil olmak üzere hizmetin nasıl yapılandırıldığı gibi çeşitli faktörlere göre değişiklik gösterebilir. Geniş bant hizmeti sağlayan fiber bağlantı, isteğe bağlı video başta olmak üzere ses ve görüntü hizmeti de sağlayabilmektedir.[196]

3.2.4 Güç Hatları üzerinden Geniş Bant (BPL)

BPL, mevcut düşük ve orta voltajlı elektrik enerjisi dağıtım ağı üzerinden geniş bant hizmeti sunulmasıdır. BPL hızları DSL ve kablo modem hızlarıyla karşılaştırılabilir değerdedir. Bu hizmet mevcut elektrik bağlantıları kullanılarak evlere internet sağlanabilmesi için de geliştirilmiştir ve çok sınırlı bir alanda kullanılabilen, gelişim sürecinde olan bir teknolojidir. Önemli bir potansiyele sahiptir çünkü elektrik hatları neredeyse bütün yerleşim yerlerine kurulur. Bu sayede her abone için yeni geniş bant tesisi kurma ihtiyacı azalabilir.[197]

[195] "Archived: What is a Cable Modem?", https://kb.iu.edu/d/ahwe (26.03.2021)
[196] "Types of Broadband Connections?", https://www.fcc.gov/general/types-broadband-connections (26.03.2021)
[197] A.g.k.

3.2.5 Uydu Geniş Bant

Uydu geniş bant, aynı zamanda "uydudan internet" olarak da isimlendirilir. Sabit telefon hattı veya diğer karasal araçlar yerine yörüngesel iletişim uyduları aracılığıyla yapılan yüksek hızlı ve çift yönlü bir internet bağlantısıdır. Günümüzde yaklaşık 22 Mbit/sn değerlerine ulaşan hız değerleri ve sunduğu imkanlarla uydu geniş bant, hem performans hem de maliyet açısından DSL geniş bant ile tamamen karşılaştırılabilir yapıdadır.[198]

3.2.6 Kablosuz - Mobil Geniş Bant

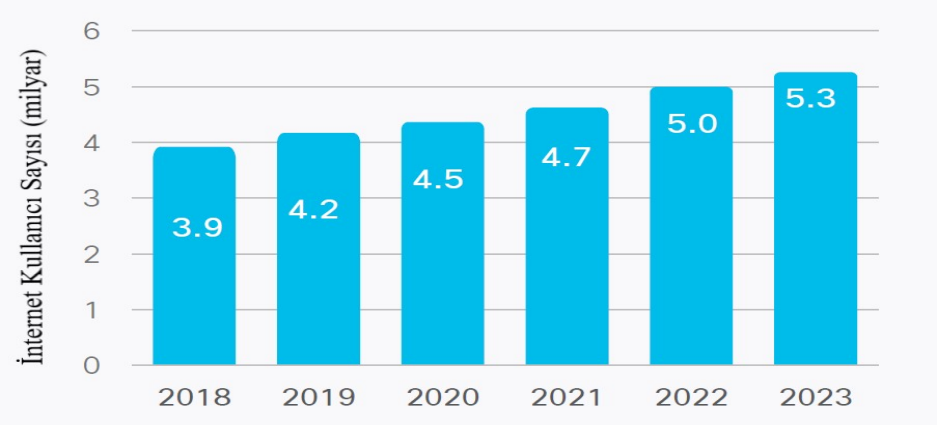
Mobil geniş bant teknolojisi kablosuz bir geniş alan ağına (Wireless Wide Area Network - WWAN) olanak tanır. Basit bir şekilde ifade edilecek olursa, taşınabilir cihazlara telsiz kuleleri aracılığıyla kablosuz yüksek hızlı internet erişimi sağlar. Mobil geniş bant teknolojisi ile mobil internet bağlantısı için kullanılabilen GSM ve CDMA tabanlı hücresel hizmetin olduğu her yerde internete bağlanılabilir. Bu hizmet sayesinde, kullanıcılar bir yerden başka bir yere hareket ederken dahi internet bağlantısının sürmesi sağlanmaktadır.[199]

Mobil geniş bant teknolojisi internet bağlantısına izin veren mobil cihazlarla çalışır. Bu cihazlar, cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, tabletler, taşınabilir modemler veya USB kablosuz modemler olabilir. Gerçek internet bağlantısı, bir cep telefonu ağı üzerinden telsiz kuleleri aracılığıyla sağlanır. İnternet bağlantısı için 3G, 4G veya 5G kablosuz ağı kullanan bir akıllı telefon örnek olarak verilebilir.[200] Mobil geniş bant teknolojisinin en büyük faydalarından bir tanesi internete evrensel erişim olanağı vermesidir. Mobil geniş bant ile kullanıcılar, internete istedikleri zaman ve istedikleri yerden erişebilirler. Bu şekilde, mobil cihazda başka bir teknolojiye

[198] "Satellite Broadband", https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/satellite-broadband (26.03.2021)
[199] "What is Mobile Broadband Technology?", https://www.lenovo.com/us/en/faqs/pc-life-faqs/what-is-mobile-broadband/ (26.03.2021)
[200] A.g.k.

ihtiyaç duymadan bir web tarayıcısı kullanılabilir, bir sosyal medya platformunda oturum açılıp paylaşımda bulunulabilir, dizi ya da film izlenebilir veya bulut hesabına bağlanılabilir. Bu ve buna benzer birçok uygulama, internet bağlantı uyumu olan bir mobil cihaz vasıtasıyla tecrübe edilebilmektedir.

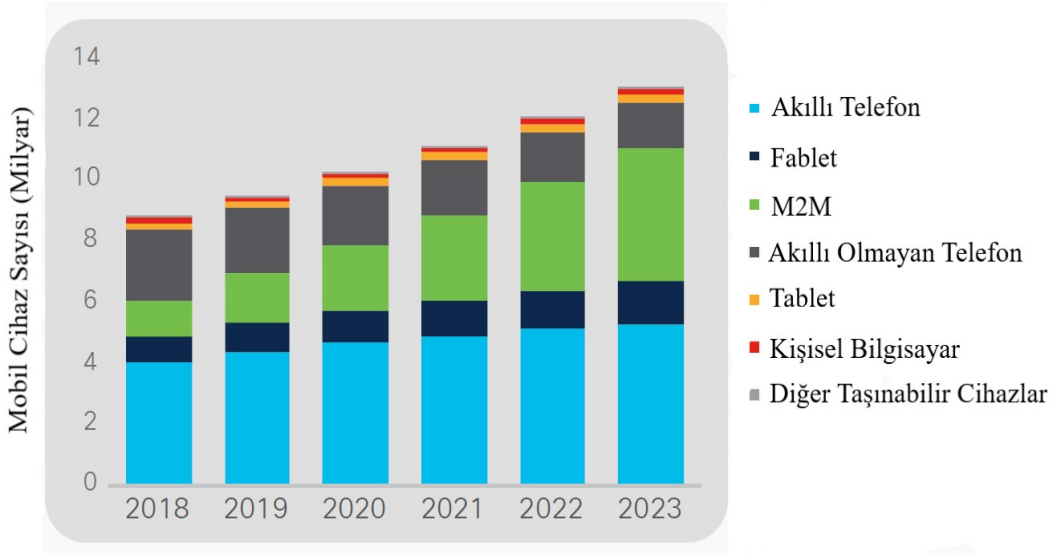
Mobil geniş bant ağlarında 1G'den başlayan ve dijital bir çağın anahtarı olarak görülen 5G'ye kadar devam eden teknolojik gelişmeler neticesinde internete erişim sağlayan abone sayısı, kullanılan mobil cihaz sayısı ve mobil abone sayısı dünya genelinde sürekli bir artış göstermiştir. Cisco tarafından yapılan ve 2020 yılında yayınlanan bir araştırmaya göre dünya çapında 2018-2023 yılları arasındaki internet erişimi olan abone sayısı, mobil cihaz sayısı ve mobil abone sayısını gösteren grafikler Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.1 Cisco'ya göre dünya genelinde internet kullanıcı sayısının yıllık dağılımı[201]

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere, küresel olarak 2018 yılında 3.9 milyar olan toplam internet kullanıcı sayısı, 2020 yılı sonunda 4.5 milyara yükselmiştir. Yapılan tahminler bu değerin 2023 yılında 5.3 milyarı bulacağı yönündedir. Nüfus açısından bakılacak olursa, internet kullanıcı sayısı 2018 yılında küresel nüfusun %51'ini ifade ederken, 2023 yılında beklenen nüfus artışı ile beraber bu değerin %66 seviyelerine yükselmesi beklenmektedir.[202]

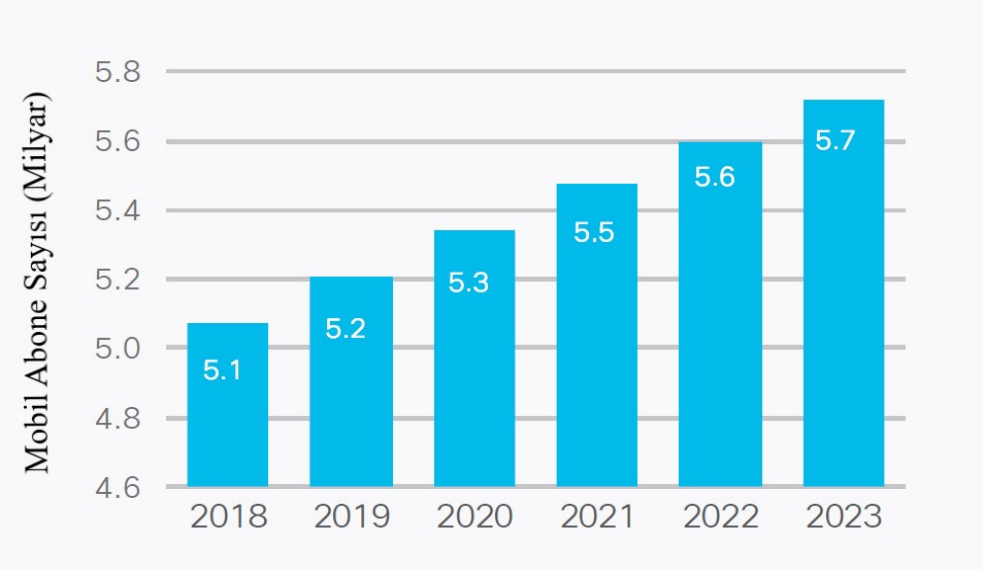
[201] Cisco, "Cisco Annual Internet Report", White Paper, (2020), s.5.
[202] A.g.k., s.5.



Şekil 3.2 Cisco'ya göre dünya genelinde mobil cihaz sayısının yıllık dağılımı[203]

Dünya çapında mobil ağlara erişen kablosuz cihazların sürekli artması, küresel mobil trafiğin büyümesine katkıda bulunan başlıca faktörlerden biridir. Her yıl farklı formlarda, artırılmış zeka ve özellikleriyle birçok yeni cihaz piyasaya sürülmektedir. 2023 yılına kadar kişisel mobil cihaz sayısının 8.7 milyarı bulacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca tablet-telefon olarak bilinen fablet sayısında son dönemlerde artış görülmektedir. Grafiğe göre, akıllı olmayan telefon sayısında hızlı bir düşüş olacaktır. Grafikte göze çarpan bir başka husus ise makineler arası haberleşme (Machine to Machine – M2M) oranlarındaki büyük artıştır. M2M mobil bağlantıları 2023 yılına kadar, toplam cihaz ve bağlantıların üçte birinden fazlasını temsil edecektir. Bu artışın en büyük sebepleri arasında, bağlantılı otonom arabalar ve bu arabalardaki GPS sistemleri, ulaşım ve üretim sektörlerindeki izleme sistemleri ile sağlık sektöründe hastaların sağlık durumunu kolay erişilebilir hale getiren tıbbi uygulamalar yer almaktadır. Sonuç olarak, 2018 yılında 8.8 milyar olan küresel mobil cihaz sayısının 2023 yılında 13.1 milyara yükseleceği öngörülmektedir.[204]

[203] Cisco, "Cisco Annual Internet Report", White Paper, (2020), s.10.
[204] A.g.k.

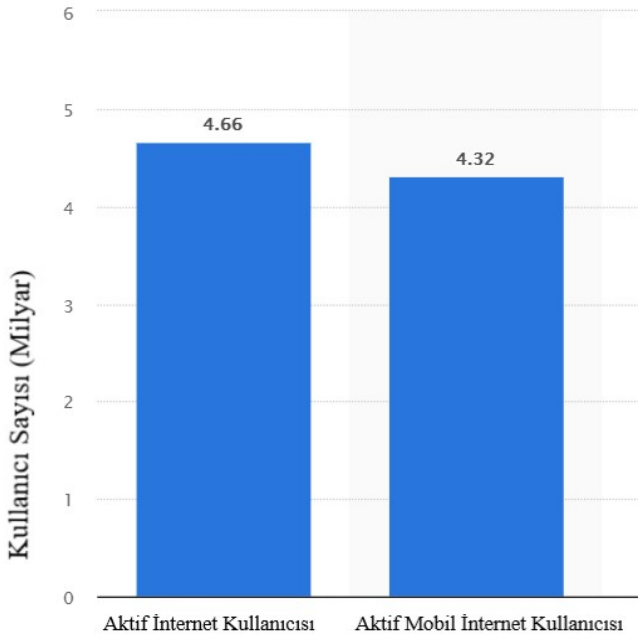


Şekil 3.3 Cisco'ya göre dünya genelinde mobil abone sayısının yıllık dağılımı[205]

Aynı araştırmaya göre, küresel olarak toplam mobil abone sayısı (bir hücresel hizmete abone olanlar) 2018'de 5.1 milyardan 2023'e kadar 5.7 milyara çıkacaktır. Bu değerler toplam dünya nüfusu açısından incelenecek olursa, 2018 yılındaki küresel nüfusun %66'sını ifade ederken, 2023 yılında olması beklenen küresel nüfusun %71'ini temsil edecektir.[206]

Geniş bant hizmetlerindeki gelişmeler, küresel ölçekte internet kullanan kişi sayısında artışlara neden olmaktadır. Bununla birlikte mobil geniş bant hizmetlerinin giderek yükselen bir ivmeyle gelişmesi ve mobil cihaz sayısındaki artışlar, mobil abone sayısı ve dolayısıyla kullanılan mobil internet oranlarını artırmaktadır. Araştırma ve istatistik şirketi olan Statista'nın Ocak 2021 verilerine göre dünyada aktif internet kullanıcı sayısı yaklaşık 4.66 milyar, aktif mobil internet kullanıcı sayısı ise 4.32 milyardır (Şekil 3.4).

[205] Cisco, "Cisco Annual Internet Report", s.9.
[206] A.g.k.



Şekil 3.4 Statisca'ya göre dünya genelinde internet ve mobil internet aktif kullanıcı sayısı[207]

Sonuç olarak global ölçekte aktif internet kullanıcılarının yaklaşık %93'ünün aktif mobil internet kullanıcısı olduğu anlaşılmaktadır. Geniş bant ve mobil geniş bant teknolojileri ile mobil cihazların hızlı ve olağanüstü gelişimi sayesinde yayıncılığın da içinde bulunduğu birçok sektörde dijital evrim yaşanmaktadır. Bu bağlamda yayıncılık endüstrisi alanında birçok yeni uygulama ortaya çıkmıştır.

3.3 MOBİL GENİŞ BANT VE YAYINCILIK SEKTÖRÜ

1G'den başlayan ve günümüzün en çok konuşulan konularından biri olan 5G'ye uzanan mobil haberleşme sistemlerinde, çok önemli gelişmeler yaşanmaya devam etmektedir. Özellikle veri hızı ve kullanılan bant genişliğinin artması, gecikme süresinin azalması ve sağlanan erişim kolaylığı ile mobil geniş bant, internete bağlanma ve hizmetlerden yararlanma noktasında kullanıcılar tarafından yoğun bir şekilde tercih edilmektedir. Mobil geniş bant kalite ve standartlarındaki bu

[207]" Global Digital Population as of January 2021", https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/ (28.03.2021)

artışlar neticesinde yayıncılık sektörü dijital bir dönüşüme girmiştir. Bu dönüşümle, geleneksel yayın iletim teknolojileri (karasal, uydu ve kablo) kullanılarak izleyicilere sunulan hizmetler, mobil geniş bant üzerinden mobil kullanıcılara sunulmaya başlamıştır. Bu doğrultuda geliştirilen teknolojiler şunlardır:

- İnternet protokolü üzerinden televizyon (Internet Protocol Television - IPTV)
- İnternet TV
- OTT (Over the Top)

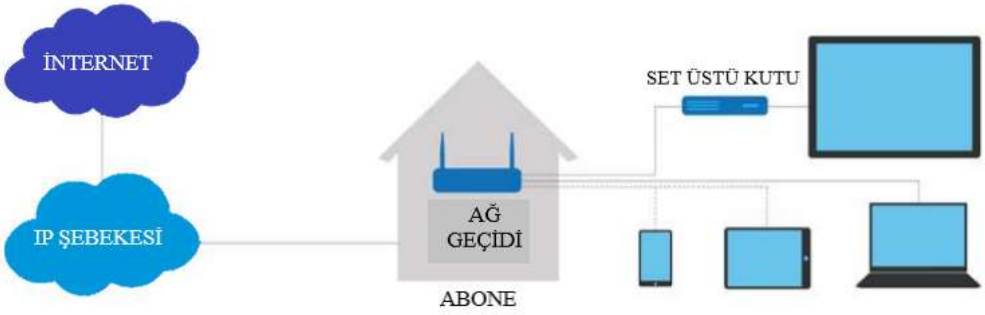
3.3.1 IPTV

İnternet protokolü üzerinden televizyon hizmeti video içeriğini bilgisayar ağları üzerinden ileten bir yayın teknolojisidir ve çalışma prensibi olarak IP üzerinden ses iletimi (Voice over IP - VoIP) ile aynı yapıya sahiptir. IPTV, içerik sunmak için kablo veya uydu sistemleri gibi ortamlar kullanmak yerine birleşik IP ağlarını kullanır ve bilgisayar veri alışverişi veya internet erişimi gibi hizmetlerin aynı ağdan kullanılabilir olmasına izin verir. Günümüzde kullanılan neredeyse bütün bağlı cihazlar için veri sağlamanın omurgası olan IP protokolüne dayalı olsa da, IPTV yeni cihazları desteklemeye ve çeşitli hizmetlerle entegre olmaya açıktır.[208]

IPTV, internet protokolüne dayanır ve televizyonu, içerik barındırma hizmetlerinin, sosyal ağların, IoT'nin ve diğer popüler web tabanlı hizmetlerin bulunduğu dijital alana entegre etmeyi mümkün kılmaktadır. Başlangıçta set üstü kutulara sahip PC ve TV'lerde bulunan IPTV, web ve mobil uygulamalarla yaygın hâle geldikten sonra gerçek anlamda bir kesişim platformu hâline gelmiştir. Mobil uygulamalar ve web oynatıcıların varlığıyla, isteğe bağlı video (Video on Demand - VoD) ve canlı TV özelliği, akıllı TV, telefon ve tabletlerden dizüstü ve kişisel

[208] "What is Internet Protocol Television IPTV?", https://www.nevron.eu/blog/iptv/ (28.03.2021)

bilgisayarlara kadar geniş bir cihaz yelpazesiyle kullanıcıya sunulmaya başlamıştır.[209]



Şekil 3.5 IPTV'nin çalışma prensibi[210]

En yaygın IPTV hizmetleri; isteğe bağlı yayın hizmetleri ve canlı televizyon hizmetlerini kapsamaktadır. İsteğe bağlı yayın hizmetleri, bir sunucu üzerinde oluşturulmuş olan içerik havuzundan dilediğini seçme ve izleme imkanını kullanıcıya verir. Canlı televizyon hizmetleri, geleneksel yayıncılıkla kullanıcıya sunulan canlı akışların bir platform üzerinde bir araya getirilerek izleyiciye erişim olanağı sağlanmasıdır. IPTV teknolojisine Türkiye'de verilebilecek en iyi örnekler; Türk Telekom Tivibu ve Turkcell TV Plus'tır.



Şekil 3.6 Türk Telekom'un Tivibu IPTV hizmetine ait set üstü kutu[211]

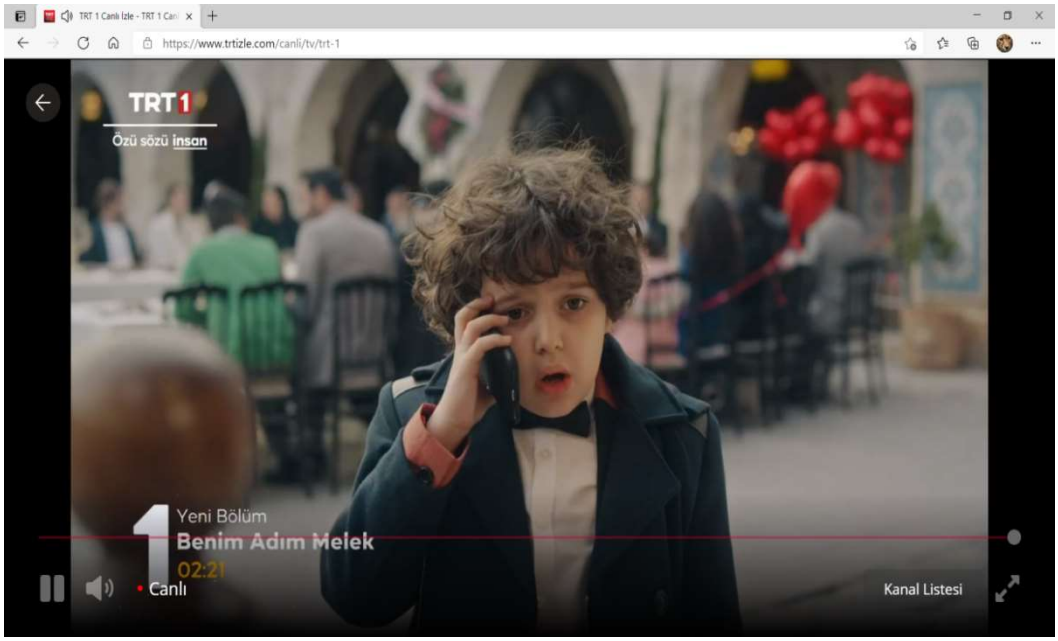
[209] "What is Internet Protocol Television IPTV?".
[210] IBC, "Market Study Report On IPTV/ VOD/ OTT Industry", IBC Consultants, Study Report, (2017), s.5.
[211]" Tivibu Ev", https://teknodestek.com.tr/tivibu-ev-nasil-kurulur-resimli-anlatim/ (28.03.21)

IPTV'nin üç farklı çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan ilki, günümüzde yoğun bir şekilde kullanılmakta olan isteğe bağlı video (VoD) olarak adlandırılmaktadır. Örneğin, bir çevrimiçi film sitesi olan Netflix, geniş bir yelpazeden TV programı veya film izlemek isteyen kullanıcılara ücreti karşılığında seçme ve izleme imkanı vermektedir. İkincisi, web tabanlı bir oynatıcı kullanılarak kullanıcılara önceden yayınlanmış olan programları izleme imkanı veren ve zaman kaydırmalı (Time-shifted) IP olarak adlandırılan hizmettir. Örneğin, İngiltere'de BBC kanalı, BBC iPlayer adındaki web tabanlı video oynatıcı ile bir önceki haftada yayınlanan programları izleyicilere sunmaktadır. Bu tür bir hizmetle kullanıcılar kendileri için uygun olan bir zaman diliminde, kaçırdıkları programları izleme olanağı bulmaktadır. Üçüncüsü ise, karasal, uydu veya kablo ortamlarından iletilen canlı yayınlara, aynı anda internet üzerinden de erişilmesini mümkün kılar. Bu hizmete canlı IPTV veya eş zamanlı IP yayını adı verilmektedir. Her üç IPTV biçimi de, bir web tarayıcısı kullanılarak bilgisayar veya mobil cihaz üzerinden ya da bir set üstü kutu kullanılarak dijital TV üzerinden kullanıcılara sunulabilir.[212]

3.3.2 İnternet TV (Web TV)

İnternet televizyonu ilk olarak 1990'lı yılların sonuna doğru gelişmeye başlamış ve geniş bant hizmetleri ile yüksek hızlı veri iletiminin mümkün kılınmasıyla daha popüler hale gelmiştir. Veri hızı ve trafiği arttıkça, çevrimiçi programlara kullanıcılar tarafından daha hızlı ve net bir şekilde erişim sağlanması kolaylaşmıştır. Buradan yola çıkarak İnternet TV'nin, programları çevrimiçi olarak izleyebilme anlamına geldiği söylenebilir. Diğer bir ifadeyle İnternet TV, akıllı televizyonlar, akıllı telefonlar ve tabletler gibi internet özellikli cihazları kullanarak televizyon içeriğine erişime izin verir. Bu sayede İnternet TV izleyicileri, geleneksel yayın iletimleriyle (karasal, uydu ve kablo) sunulan programlara ve içerik akışına internet bağlantısı kullanarak ulaşabilmektedir.[213]

[212] IBC, "Market Study Report", s.4.
[213] "Internet Television: Definition & Impact", https://study.com/academy/lesson/internet-television-definition-impact.html (28.03.2021)



Şekil 3.7 İnternet TV yayıncılığı örneği (TRT1 - https://www.trtizle.com/canli/tv/trt-1)

İnternet TV ile IPTV birtakım sebeplerden ötürü karıştırılabilmektedir. Öncelikle IPTV'ye kıyasla İnternet TV, internet üzerinden daha kolay bir şekilde ulaşılabilen bir yapıya sahiptir. Abonelik yapısına sahip İnternet TV'lerde bile kullanıcı, bilgisayar veya mobil cihazına herhangi bir uygulama indirmeksizin yalnızca kullanıcı adı ve şifre ile yayına ulaşabilmektedir. IPTV'de ise abonelik merkezli bir hizmet yapısı mevcut olup, hizmete erişim sağlayabilmek için donanımsal bir ekipmana ihtiyaç vardır. Ayrıca, yayın izlenirken durdurma ve geri alma özellikleri İnternet TV'lerin bazılarında yer alırken, bu özellikler IPTV'de olması gereken bir ölçüttür. Bir diğer farklılık ise İnternet TV yayını açık yayıncılık olarak nitelendirilirken, IPTV'de kişiye özel bir televizyon hizmeti sunulmaktadır. Bununla birlikte IPTV'de talep edilen video servislerinin kalitesi ile bant genişliği garanti edilirken, İnternet TV'de kullanıcının sahip olduğu internet bant genişliğine göre sunulan hizmetin kalitesi değişebilmektedir[214]

[214] Cenk Demirkıran, "Geleneksel Televizyonun Sanal Modeli Olarak Web TV ve Livestream Portalında TV Yönetimi", *Maltepe Üniversitesi,* 14 (2010), s.83

3.3.3 OTT

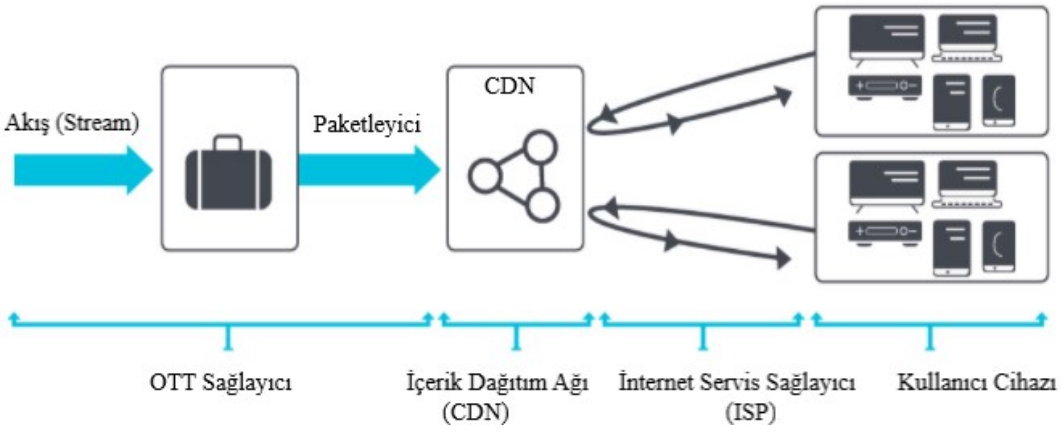
İnternet teknolojileriyle medyanın dijitalleşmesi, yayıncılık ekosistemindeki paradigmayı değiştirmiştir. Geleneksel yayın hizmetleri internet tabanlı hizmetlere entegre edilmiş ve bu şekilde OTT teknolojisi pazardaki kilit hizmetlerden biri haline gelmiştir.

BEREC tarafından yayınlanan bir raporda OTT hizmeti, *"halka açık internet üzerinden son kullanıcıya sağlanan içerik, hizmet veya uygulamalar"* olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcılara sağlanan servislerin; içerik, hizmet veya uygulama olabileceği belirtildiğinden dolayı, internet üzerinden sağlanan herhangi bir uygulamanın bir OTT hizmeti olduğu anlamına gelir. Bu hizmetlerin kullanıcılara sunulması süreci, internet erişim sağlayıcılarının kontrol veya dağıtım işlemlerine katılımı olmadan gerçekleşir.[215] Bu sebepten ötürü OTT servisleri, şebekeler üstü (Over the Top) hizmetler olarak tanımlanabilmektedir.[216]

OTT teknolojileri, ağlar üzerinde taşınan ve kullanıcılara medya deneyimi noktasında değer katan hizmetlerdir. Söz konusu hizmetler kullanıcılara sağlanırken herhangi bir internet servis sağlayıcısı; planlama, sağlama veya hizmet verme sürecine dahil olmaz. Bundan dolayı OTT servislerine geleneksel telekomünikasyon şirketlerinin doğrudan bir etkisi bulunmamaktadır.

OTT hizmetleri; internet üzerinden sağlanan ses hizmeti, web tabanlı içerik (haber sitesi, sosyal medya vb.), arama motorları, e-posta hizmetleri, anlık mesajlaşma, video veya multimedya gibi içerik ve uygulamaların kullanıcılara sağlanmasını içerir. Bu hizmetlerin artışı inovasyon ve alternatif hizmetlerin büyümesi için uygun bir ortam meydana getirmiştir.

[215] BEREC, "Report on OTT Services", *BoR,* (16) 35, (2016), s.14.
[216] BTK, "Sabit Şebekede Çağrı Sonlandırma Pazarı", *Pazar Analizi Çalışmaları,* 2020.T.EU2014M1.3 (2020), s.24.



Şekil 3.8 OTT iletim şeması[217]

Geleneksel yayın hizmetleri kapsamında OTT servisleri iki kısımda incelenebilir. Bunlar müzik akışı ve video akışı hizmetleridir. Müzik akışı hizmetlerine Spotify ve Deezer örnek olarak verilebilir. Video akışı hizmetlerinde ise müzik hizmetlerine nazaran daha geniş bir hizmet yelpazesi sunulmaktadır. OTT video dağıtım teknolojisi ile kullanıcılar; cep telefonları, tabletler, kişisel bilgisayarlar, akıllı TV'ler ve oyun konsolları gibi cihazlar vasıtasıyla video içeriklerine erişim sağlayabilmektedir. Ayrıca OTT sistemleri IPTV'nin gerektirdiği set üstü kutusu sınırlamasını ortadan kaldırmıştır.[218] Bununla birlikte, mobil cihaz kullanımının giderek artması ve OTT servislerinin sahip oldukları mobil uygulamalar sayesinde kullanılabilirliği üst seviyelere taşınmış ve oldukça rağbet görmeye başlamıştır. En bilinen OTT video akış servisleri; Netflix, HBO, Hulu, Amazon, Blu TV ve ülkemize yakın zamanda tanıtılan Exxen'dir. İçerikleri kullanıcılar tarafından video kütüphanesine eklenen YouTube platformu da OTT servisleri arasında gösterilebilir.

Kullanıcılara sunulan video akış hizmetlerinin çoğalması ve gelişmesi, televizyon dağıtımının mantığını da değiştirmeye başlamıştır. Bu akış hizmetinin kullanıcıları; özellikle Netflix, Hulu ve Amazon Prime Video gibi abonelik tabanlı çalışan isteğe bağlı video platformlarının algoritmik olarak derlenmiş içerik kataloglarından, etkileşimli TV izlemenin ayırt edici bir yoluna alışmaktadır. Üst

[217] "What is OTT?", https://www.telestream.net/video/solutions/what-is-ott.htm (27.03.2021)
[218] A.g.k.

düzey OTT video akış platformlarının büyümesi ve yaygınlaşması, dünya çapında dijital ortamda video görüntülemenin en büyük itici gücü olmuştur.

Geleneksel yayın faaliyetlerinin yanında, mobil geniş bant teknolojileri ile mobil cihaz standartlarının da gelişmesi, yayıncılık ve geniş bant sistemleri arasında yakınsama denilen bir kavramı ortaya çıkarmıştır. Burada bahsedilen yakınsama kavramı, birbirinden bağımsız olan elektronik haberleşme ve yayıncılık sektörleri arasındaki sınırların ortadan kalkması ve birbiri içine dahil olmaları olarak ifade edilebilir.[219] Yakınsamanın etkisiyle yayıncılık alanında yukarıda anlatıldığı üzere IPTV, İnternet TV ve OTT gibi yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bu üç teknoloji arasında özellikle OTT video servisleri veya bir başka deyişle isteğe bağlı video servisleri (VoD), son yıllarda dünya çapında kullanıcıların dikkatini çekmiş ve ün kazanmıştır. Bunun sonucunda da yayın faaliyetleri internet ortamında hız kazanmıştır. VoD servisleri, içeriklerini temel olarak geniş bant üzerinden kullanıcılara sunsalar da, üyelik, abonelik ve ücretlendirme gibi hususlarda birtakım farklılıkları bulunmaktadır. Dağıtım biçimleri ve iş modelleri bakımından isteğe bağlı video hizmetleri üç kısma ayrılmaktadır:

- **Abonelik Tabanlı VoD (Subscription VoD - SVoD):** SVoD, geleneksel televizyon paketlerine benzer ve kullanıcıların ayda sabit bir ücret karşılığında istedikleri kadar içeriğe erişebilmelerine olanak sağlar. Kullanıcıların uzun vadeli bir sözleşmeye bağlı olma zorunluluğu bulunmadığından, aboneliklerini devre dışı bırakma konusunda bir kolaylık söz konusudur. Bu durum kullanıcılara bir esneklik sağlarken, SVoD hizmeti sağlayan şirketleri içerik yenileme ve makul ücretlendirme yapmaya yöneltir. Dünyada başlıca SVoD platformlarına Netflix, Amazon Prime Video, Hulu, HBO, Disney, Türkiye'de ise Blu TV ve Exxen örnek gösterilebilir.[220] Son dönemde ücretli abonelikle içeriklerine reklamsız olarak erişim imkanı sunan YouTube Premium da SVoD hizmeti olarak değerlendirilebilir.

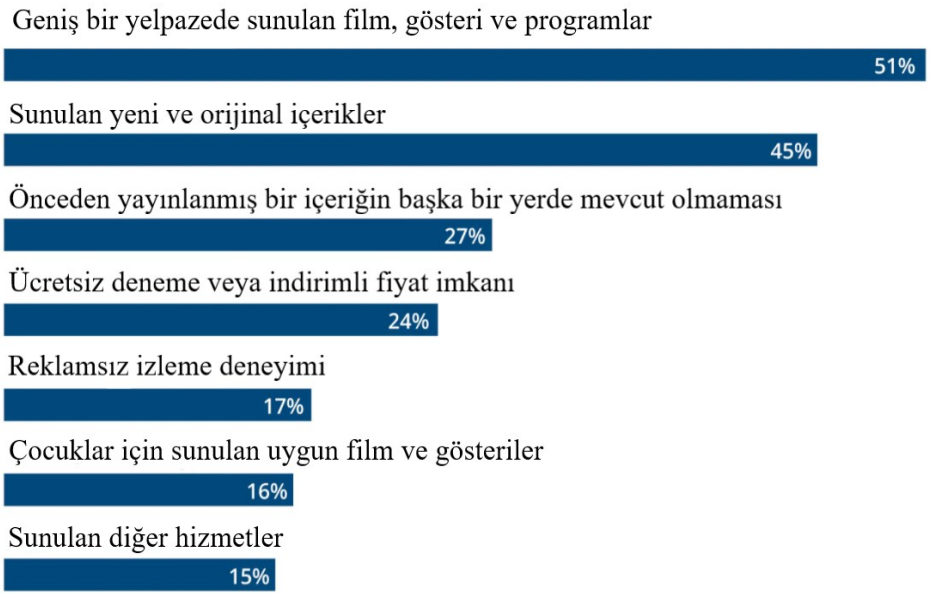
[219] Şakir Ağırbaşlı, "Sayısal Yayıncılık Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Frekans Spektrumu Kullanımı", Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, 2017, s.2.
[220] "What are SVOD, TVOD, AVOD?", https://imagen.io/blog/what-are-svod-tvod-avod/ (29.03.2021)

- **İşleme Dayalı VoD (Transactional VoD- TVoD):** TVoD, kullanıcıların izleme başına ödeme (pay per view) esasına göre içeriklere erişim sağladığı isteğe bağlı video hizmetidir. TVoD platformları, hizmete kaydolmak için kullanıcılardan herhangi bir ücret talep etmemektedir. Kayıt yapıldıktan sonra izlenmek istenen her bir içerik için ayrı bir ücret ödenir. TVoD hizmeti sunan platformlara Apple iTunes, Google Play, Sky Box Office ve Amazon'un video mağazası örnek olarak verilebilir.[221]

- **Reklam Tabanlı VoD (Advertising based VoD - AVoD):** SVoD ve TVoD hizmetlerinin aksine AVoD platformlarına erişim ücretsizdir. Bununla birlikte televizyon yayınına benzer şekilde, izleyiciler içeriklere erişirken reklam izlemek zorunda kalmaktadır. AVoD platformları ücretsiz oldukları ve yalnızca reklam gelirleriyle varlıklarını sürdürdüklerinden dolayı, yüksek kaliteli içerik üreticileri, içeriklerini kullanıcılara sunmak için SVoD ve TVoD platformlarını tercih etmektedir. Reklam tabanlı isteğe bağlı video hizmeti sunan platformlar arasında YouTube, DailyMotion ve Puhu TV yer almaktadır.[222]

Bu teknolojilerin gelişmesi ve internete erişimin kolaylaşması sayesinde yayıncılık, dijital bir dönüşüme girmiş ve bunun sonucunda izleyici alışkanlıkları değişmeye başlamıştır. Bu dönemde özellikle SVoD hizmetleri kullanıcıların yoğun ilgisini kazanmıştır. Böylelikle bu hizmetlerin gelişimi hızlanmış ve yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanan bu platformların abone sayıları yükselişe geçmiştir. 2020 yılında Deloitte tarafından yapılan bir ankette, kullanıcılara video akış platformlarına (SVoD servisleri) abone olmalarının sebepleri sorulmuş, seçenekler arasından maksimum üç seçenek işaretlemeleri istenmiş ve Şekil 3.9'daki sonuçlar elde edilmiştir.

[221] "What are SVOD, TVOD, AVOD?".
[222] A.g.k.



Şekil 3.9 Deloitte tarafından yapılan izleyici anketi sonuçları [223]

Anket sonuçları; OTT servislerince sunulan içerik kütüphanesinin zenginliğinin, izleyicilerin ilgisini çeken başlıca neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, içeriklerin yeni ve orijinal olması da bu platformlara yönelik artan taleplerdeki bir diğer etkendir. Bununla beraber, erişim sağlanan içeriğin başka hiçbir bir platformda bulunmaması da izleyiciyi bu hizmetlere çeken nedenlerden biri olarak dikkat çekmektedir.

3.4 AKTİF İZLEYİCİLİK, İZLEME ALIŞKANLIKLARI VE OTT EĞİLİMLERİ

Telekomünikasyon, kitle iletişim araçları ve bilgi işlem teknolojilerinin yakınsaması internetin stratejik önemini artırmıştır. İnternet özellikli cihazların yoğunlukla tercih edilmesi ile internetin yaygın kullanımı, web tabanlı yayıncılık hizmetlerinin de sayısını artırmıştır. Bu doğrultuda ortaya çıkan OTT ve VoD

[223] "Digital Media Trends Survey, 14th Edition", https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/digital-media-trends-consumption-habits-survey/summary.html (29.03.2021)

hizmetleri ile yaşanan teknolojik gelişmeler ışığında izleyicilerin televizyon izleme ile ilgili tutum ve davranışlarında çeşitli değişiklikler meydana gelmiştir.

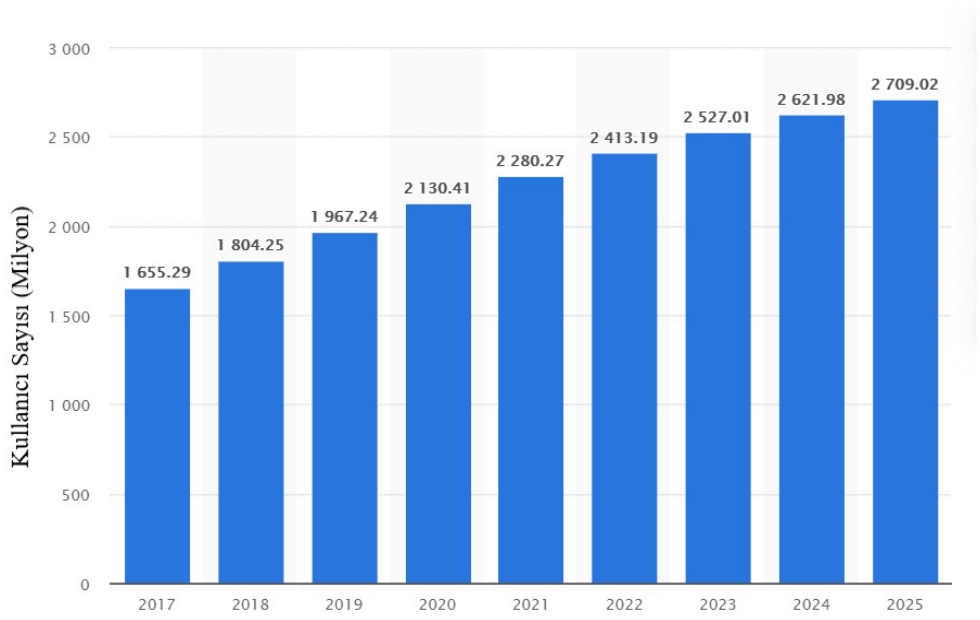
Günümüzde isteğe bağlı video (VoD) hizmetleriyle; film, eğlence, spor ve eğitim programlarını içeren çok çeşitli video programları sunulmaktadır. VoD başlangıçta film erişimi için oluşturulmuş olmasına rağmen değişen abone tercihleri, TV programlarına ve diğer içeriklere olan talebi artırmıştır. Bu bağlamda VoD servis sağlayıcıları, sundukları hizmetleri diğer içeriklere doğru genişletmek durumunda kalmışlardır. Giderek artan talepler doğrultusunda VoD pazarının 2025 yılına kadar %12.2'lik bir yıllık büyüme oranı ile genişlemesi beklenmektedir.[224]

İçerik açısından IPTV, sektörde yaşanan en son teknolojik yenilikler sayesinde pazarda yüksek bir büyüme oranına sahip olmuştur. Geniş bant internet hizmetlerinin artan kullanılabilirliği, geleneksel televizyon hizmetleriyle karşılaştırıldığında IPTV talebinin artmasına yardımcı olmuştur. IPTV hizmetlerinde, izleyicilere akış içeriği sunmak için birçok sunucu kullanılmakta ve bu da gecikme sorunlarını en aza indirmektedir. Ayrıca, mevcut bant genişliği en üst düzeye çıkarılarak teslimat hızı da optimize edilmektedir. Bununla birlikte, rekabetçi piyasa koşullarında birçok IPTV hizmet sağlayıcısı, medya içeriğine yönelik artan talepleri göz önünde bulundurarak gelişmiş içerik dağıtım ağları (Content Delivery Network - CDN) temin edilmesine öncelik vermektedir. Artan teknolojik gelişmelerle birlikte yapılan altyapı yatırımları çerçevesinde IPTV pazarının hızla büyümesi beklenmektedir.

OTT platformlarına yönelik artan talep, bu pazarın da büyümesini etkilemektedir. Statista'nın Ocak 2021 verilerine göre dünya çapında OTT video

[224] "Video on Demand Market - Growth, Trends, and Forecasts (2020 - 2025)", https://www.reportlinker.com/p05974097/Video-on-Demand-Market-Growth-Trends-and-Forecasts.html?utm_source=GNW (29.03.2021)

kullanıcılarının sayısı 2020 yılı sonu itibariyle yaklaşık olarak 2.1 milyardır.[225] Bu kullanıcılar erişim sağladıkları içerikleri geleneksel TV izleyicileriyle aynı zaman diliminde izlemektedir. OTT akış platformlarının popülaritesindeki artışın arkasındaki ana neden, orijinal ve yüksek kaliteli içeriğe sınırsız erişim için artan taleptir. Ek olarak, özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Hindistan gibi ülkelerde büyüyen film ve medya endüstrisinin, bu pazar için firmalara önemli bir büyüme fırsatı sunması muhtemeldir. Bu sebeple Netflix ve Amazon'dan sonra Disney ve Apple firmaları da bu önemli fırsatı değerlendirmek ve bu alanda hizmet vermek amacıyla 2019 yılında yayın faaliyetlerini başlatmışlardır.[226]



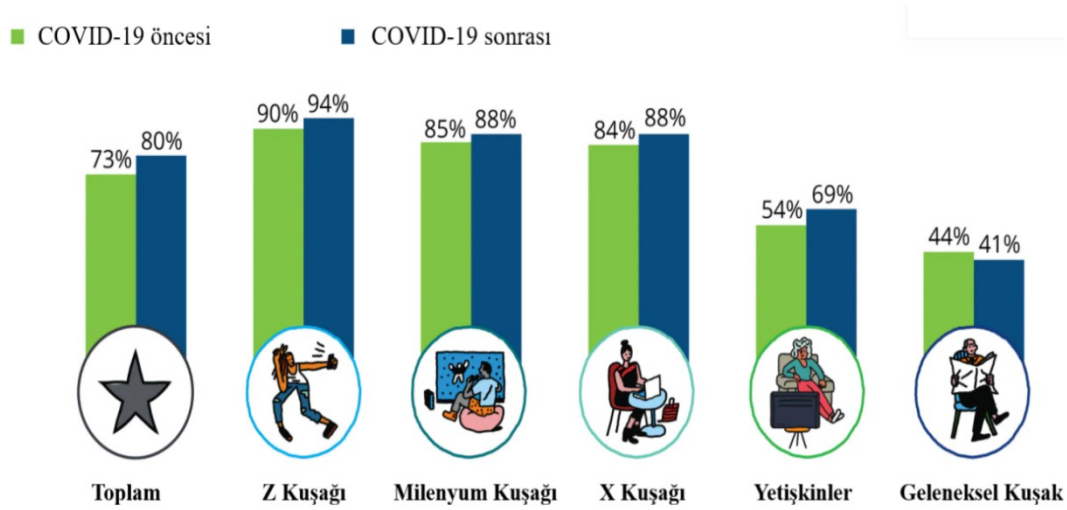
Şekil 3.10 2017'den 2025'e kadar dünya çapında OTT video kullanıcılarının sayısı[227]

Bütün bunların yanı sıra, devam eden COVID-19 salgını dolayısıyla tüm dünyada karantina ve sokağa çıkma kısıtlamaları uygulanmaktadır. Alınan bu karantina önlemleri, salgın sırasında insanların hareketliliğine kısıtlamalar getirmiş, bunun sonucunda küresel olarak isteğe bağlı video akışı servislerini kullanan birey sayısını artırmış ve bu durum VoD alanında olumlu etkiler meydana getirmiştir.

[225] "Number of OTT video users worldwide from 2017 to 2025", https://www.statista.com/forecasts/1207843/ott-video-users-worldwide (29.03.2021)
[226] "Video on Demand Market - Growth, Trends, and Forecasts (2020 - 2025)".
[227] A.g.k.

Rapid TV News'in tahminlerine göre global ölçekte abonelik tabanlı VoD kullanıcı sayısının COVID-19 salgını nedeniyle %5 büyüyeceği değerlendirilmiştir.[228]

Deloitte tarafından yapılan bir diğer çalışmada, bireylerin COVID-19 salgını öncesi ve sonrasında OTT servislerinden ne kadar yararlandıkları araştırılmış ve elde edilen veriler kuşaklara göre sınıflandırılarak karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 3.11 En az bir ücretli video akışı aboneliğine sahip kullanıcı yüzdeleri[229]

OTT'ye yönelik artan taleplerin başlıca sebepleri[230]

- Video içeriğini izlemede OTT platformlarının tercih edilmesinin temel nedenlerinden biri, aynı yerde birden çok kullanıcının aynı anda farklı cihazlarda farklı programları izlemesine izin vermesidir. Ayrıca bir dizi veya programın bölümlerini ardı ardına izleyebilme (binge-watching) imkanı da kullanıcı izleme deneyimini artırmaktadır.
- İzleme deneyimlerini geliştiren bir diğer faktör erişim kolaylığıdır. Çeşitli içeriklerin farklı cihazlar arasında sürekli entegrasyonu, artan abone tercihleri

[228] "Video on Demand Market - Growth, Trends, and Forecasts (2020 - 2025)"
[229] "Digital Media Trends Survey, 14th Edition"
[230] "Video on Demand Market - Growth, Trends, and Forecasts (2020 - 2025)"

nedeniyle içeriği her cihazda, her yerde ve her zaman izlemek açısından kritiktir.

- Mobil cihazların yaygınlaşması ve internete erişimin artması, kullanıcıların bekleme gerekliliğini azaltarak dijital dünya ile güncel kalmalarına yardımcı olmaktadır. Anlık memnuniyet ihtiyacı, kullanıcıların akıllı telefon, tablet ve PC gibi cihazları kullanarak eğlence amaçlı çevrimiçi platformlar olarak benimsediği tüketici dünyasında, hizmet kalitesinin artırılmasını tetikleyen etkileyici bir güç haline gelmiştir.
- 5G mobil geniş bant teknolojilerinin artacak olan yaygınlığı, bu pazarın büyümesini etkileyecektir. Düşük gecikme süreleri ile çok yüksek hızlarda veri transferine olanak verecek olması ve yüksek bant genişliği imkanı sunması OTT video hizmet kalitesini doğrudan etkileyeceği düşünülen faktörlerdir. Ayrıca 5G sistemlerinde kullanılacak olan kapsamlı MIMO, hüzmeleme ve küçük hücre uygulamasının kullanıcılara, kesintisiz ve güçlü bir bağlantı sağlayacağı değerlendirilmektedir.
- Çin ve Hindistan gibi ülkeler, aylık mobil internet kullanımının en yüksek olduğu ülkeler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, bu pazardaki büyük şirketler mobil internet kullanımına yönelik yenilikçi stratejiler uygulamaya başlamıştır. Örneğin, Netflix 2019 yılında ülkenin akıllı telefon kullanıcılarına kişiselleştirilmiş bir deneyim sunmak amacıyla yalnızca Hindistan'da ve sadece mobil cihazlara yönelik bir çalışma planı başlatmıştır.

İsteğe bağlı video ve OTT servisleri, abonelik temelli yayın hizmeti oldukları için ticari bir sektör halini almıştır. Bu ticari sektör global olarak incelendiğinde, Kuzey Amerika'da yaşanan gelişmelerin bu faaliyetlere öncülük ettiği görülmüştür. Dijital medya alanında Netflix, Amazon, Hulu ve Apple TV gibi teknoloji devlerinin yükselişi ile OTT video hizmetleri, eğlence merkezi olarak görülen geleneksel televizyonların yanında güçlü bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. NScreenMedia'ya göre ülkedeki video akış pazarı, değişen tüketici tercihleri ve yüksek kaliteli içerik talebi nedeniyle son dokuz yılda 16 milyar dolarlık bir endüstri haline gelmiştir. Kanada'da ise abonelik temelli isteğe bağlı video (SVoD) endüstrisinin ülke pazarının büyümesine katkıda bulunacağı, yapılan

değerlendirmeler arasındadır. Bu doğrultuda, Disney+ şirketi Kanada'da dijital yayın hizmetlerini 2019'da başlatmış ve o yılın sonunda iki milyon aboneye ulaşmıştır.[231] Ayrıca, dijital medya tüketimindeki genel büyümenin önemli nedenlerinden biri olan mobil cihazların da artan mobil kablosuz bağlantı trafiği ve internet kullanımıyla bu endüstriyi olumlu yönde etkilediği değerlendirilmektedir.

3.5 DÜNYA ÇAPINDA SVoD KULLANIMI

Abonelik tabanlı isteğe bağlı video servisleri (SVoD), başta ABD olmak üzere Avrupa ve Asya'da kullanıcılar tarafından yoğun bir şekilde ilgi görmektedir. Bu doğrultuda dünya çapında SVoD kullanıcı sayısı giderek artmakta ve buna bağlı olarak SVoD servisleri yayıncılık sektörü içerisinde büyük bir pazar haline gelmektedir.

2020 yılı başlangıcı itibariyle dünya çapında 642 milyon olan SVoD abone sayısının, 2025 yılı sonuna kadar 1.161 milyar olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca bu abonelerin yaklaşık %30'unun içeriklere mobil ağlar üzerinden erişim sağlayacağı da yapılan öngörüler arasında yer almaktadır.[232]

3.5.1 Türkiye

Bilindiği üzere, geniş bant teknolojilerinde yaşanan önemli gelişmeler sonrasında yayıncılık faaliyetleri dijitalleşme yoluna girmiş ve internet ortamına taşınmaya başlamıştır. Bu dönüşüme ayak uyduran ülkelerden biri de Türkiye'dir. Türkiye, devam eden geleneksel yayın hizmetlerinin yanı sıra geniş bant üzerinden kullanıcılara içerik sunmayı hedefleyen abonelik tabanlı isteğe bağlı video

[231] "Video on Demand Market - Growth, Trends, and Forecasts (2020 - 2025)"
[232]" Global SVOD (Subscription Video On Demand) Vendor Forecasts Report 2020-2025", https://www.globenewswire.com/fr/news-release/2021/02/01/2167036/28124/en/Global-SVOD-Subscription-Video-On-Demand-Vendor-Forecasts-Report-2020-2025-1-161-Million-SVOD-Subscriptions-by-2025-up-from-642-Million-at-end-2019.html (31.03.2021)

hizmetleriyle, Blu TV'nin 2015'te kurulması ve 2016'da yayına geçmesi ile tanışmıştır. Yerli bir platform olan Blu TV'nin yayın hayatına başlamasından kısa bir süre sonra dünyaca bilinen medya şirketlerinden biri olan Netflix, Türkiye pazarına girme kararı almıştır.[233] Ülkede 4.5G teknolojisinin de kullanılmaya başlanması ile mobil cihaz ve mobil veri tüketimi hız kazanmıştır. Bu doğrultuda televizyonun internet ortamına kayarak dijitalleşmeye başlaması ve söz konusu hizmetlere artan talepler doğrultusunda abone sayılarında artışlar meydana gelmiştir.

Araştırma şirketi EMarketer'in Ağustos 2020 verilerine göre Türkiye'de internet kullanan bireyler arasında yapılan çalışmalar sonucunda; geniş kapsamda VoD hizmetlerinden yararlananların oranı 2019'da %85.7 iken, bu değerin 2020 yılında %88.9'a yükseldiği bildirilmiştir. Aynı şekilde 2019'da %57.1 olan SVoD hizmetlerinden faydalananların oranı 2020 yılında %68.3 olmuştur.[234]

KPMG tarafından yapılan bir ankette; kullanıcılara yöneltilen "Herhangi bir ücretli dijital yayın platformuna (Netflix, Blu TV vb. internet üzerinden yayın yapan platformlar) üyeliğiniz bulunmakta mıdır?" sorusuna %86 oranla "evet" yanıtı alınmıştır. Aynı ankette, COVID-19 salgını sürecinde üye olunan herhangi bir platform olup olmadığı sorulmuş ve üye olunan platformların sırasıyla; Netflix, Blu TV ve Youtube Premium olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla beraber, kullanıcıların dijital yayın hizmetleri arasında seçim yaparken hangi kriterleri ön plana koydukları da sorulmuş ve puanlamaların 1-9 arası yapılması istenmiştir. Derecelendirme bu şekilde yapılmış ve kriterler önem sırasına göre Şekil 3.12'de sıralanmıştır.[235]

[233] "Türkiye'de internet televizyonculuğu", https://www.cnnturk.com/yazarlar/guncel/ozan-onat/turkiyede-internet-televizyonculugu (02.04.2021)
[234] eMarketer, The Global Media Intelligence Report 2020, *A Reference Guide to Consumers' Media Use in 42 Countries,* (2020), s.172.
[235] KPMG,"Türkiye'de Dijital Yayın Platformları ve Pandeminin Etkileri", *KPMG Türkiye,*(2020), s.4.



Şekil 3.12 KPMG tarafından Türkiye'ye yönelik yapılan anketin sonuçları[236]

Twentify tarafından yapılan bir diğer araştırmada, kullanıcıların hizmet aldıkları platformlara ilişkin memnuniyet derecesi ölçülmek istenmiş ve puanlamalar belirtilen medya dağıtım servislerine aktif aboneliği bulunan tüketicilerin yapmış oldukları 1-5 arası puanlamaların ortalaması hesaplanarak oluşturulmuştur.

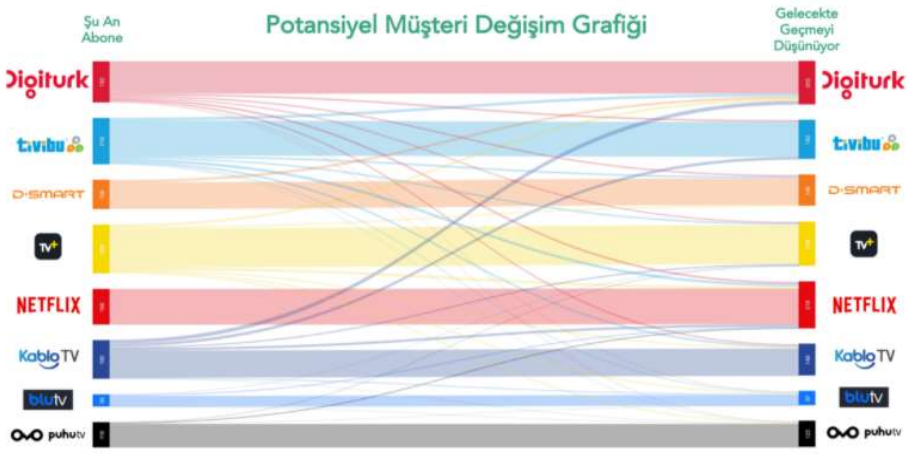


Şekil 3.13 Twentify tarafından yapılan memnuniyet anketi[237]

Şekil 3.13'te görüldüğü üzere SVoD hizmeti veren iki önemli markadan Netflix 4.59 puanla birinci sırada yer alırken, Blu TV 4.24 puan alarak dördüncü sıraya yerleşmiştir.[238]

[236]KPMG,"Türkiye'de Dijital Yayın Platformları ve Pandeminin Etkileri", s.8.
[237]"Türkiye OTT'ye Isındı, Medya Dağıtım Servisleri Pazarında Teknolojik Dönüşüm Hızlanıyor", https://www.twentify.com/tr/blog/turkiye-ottye-isindi-medya-dagitim-servisleri-pazarinda-teknolojik-donusum-hizlaniyor (01.04.2021)
[238] A.g.k.

Söz konusu çalışmada ayrıca kullanıcılara gelecekteki abonelik durumlarının değişip değişmeyeceği sorulmuş ve bu konudaki potansiyel değişimler saptanmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; Kablo TV abonelerinin %21.62'si, Tivibu abonelerinin %18.03'ü ve TV+ abonelerinin %10.68'i başka dağıtım platformlarına geçmeyi düşündüklerini belirtmişlerdir. Bu noktada, en yüksek potansiyel artış beklenen platformlar %24.20 ile Netflix ve %13.43 ile Blu TV olmuştur (Şekil 3.14).[239]



Şekil 3.14 Twentify tarafından yapılan ankete göre potansiyel müşteri değişim grafiği[240]

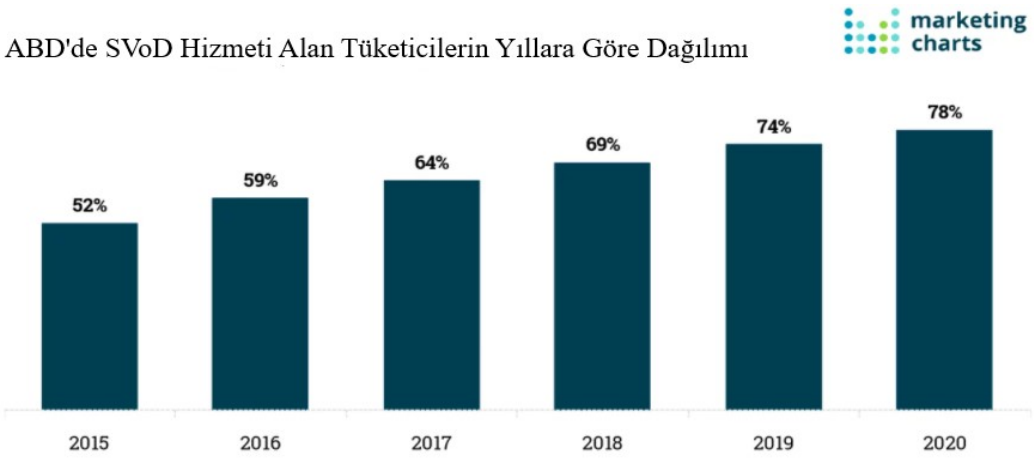
Yukarıda bahsedildiği üzere, medyanın dijitalleşmesi ile ilgili olarak Türkiye'ye yönelik yapılan araştırma, inceleme ve anketler; gerek teknolojik gelişmelerin yaşanması gerekse tüketiciye yüksek kaliteli hizmet sunulması gibi sebeplerden ötürü izleyici alışkanlıklarında değişim yaşandığını göstermiştir.

3.5.2 Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri, abonelik tabanlı isteğe bağlı video (SVoD) servislerinin rağbet gördüğü birçok dünya ülkesinden biridir. Ayrıca, bu sektörde hizmet veren platformların en bilinen örnekleri olan Netflix, Amazon Prime Video, Hulu ve HBO gibi şirketlerin birçoğunun bu ülke sınırlarında varlıklarını

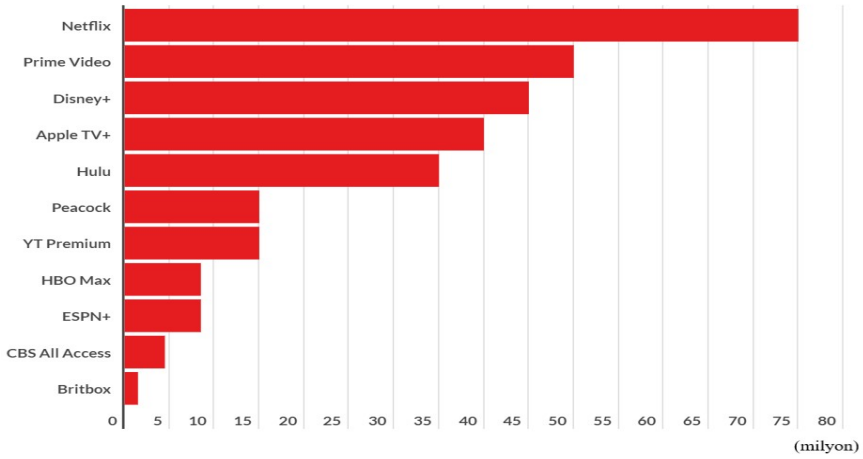
[239]"Türkiye OTT'ye Isındı, Medya Dağıtım Servisleri Pazarında Teknolojik Dönüşüm Hızlanıyor"
[240]"A.g.k.

sürdürmelerinden dolayı, özellikle burada revaçta oldukları bilinmektedir. Bu ülkede SVoD pazarına yönelik yapılan araştırmalar, izleyici eğilimlerinin bu servislere doğru arttığını göstermektedir (Şekil 3.15). Grafikten de anlaşılacağı üzere 2015 yılında %52 olan SVoD kullanıcı oranı, 2020 yılı sonunda %78 seviyesine yükselmiştir.[241]



Şekil 3.15 ABD'de SVoD kullanıcılarının yıllık yüzdeleri[242]

Servis platformları üzerinden bakıldığında ise bu sektörde dünya çapında popüler olan Netflix'in ABD'de öne çıktığı, aşağıda yer alan verilerden anlaşılmaktadır (Şekil 3.16).

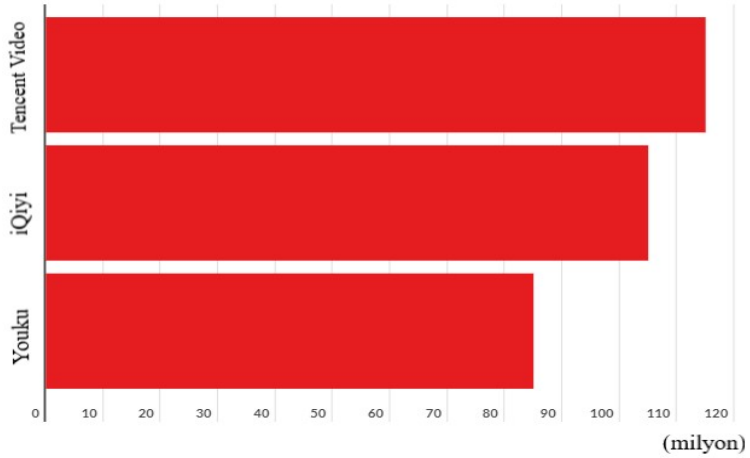


Şekil 3.16 2020 yılında ABD'de SVoD kullanıcılarının platformlara göre dağılımı[243]

[241] "Nearly 8 in 10 US Households Now Use SVOD Services", https://www.marketingcharts.com/digital/video-114967 (31.03.2021)
[242] A.g.k.

3.5.3 Çin Halk Cumhuriyeti

Dünyanın en kalabalık nüfusuna sahip ülkesi konumunda olan Çin, teknolojik gelişmelerin de merkezi olarak nitelendirilebilecek ülkelerden bir tanesidir. Ülkede video akışı endüstrisi büyük olsa da, kullanıcı başına elde edilen gelir düşük olduğu için diğer ülkeler kadar kar oranı yüksek değildir. Buna rağmen ülke çapında gelişim göstermiş birkaç SVoD hizmet sağlayıcı platform bulunmaktadır.



Şekil 3.17 2020 yılında ABD'de SVoD kullanıcılarının platformlara göre dağılımı[244]

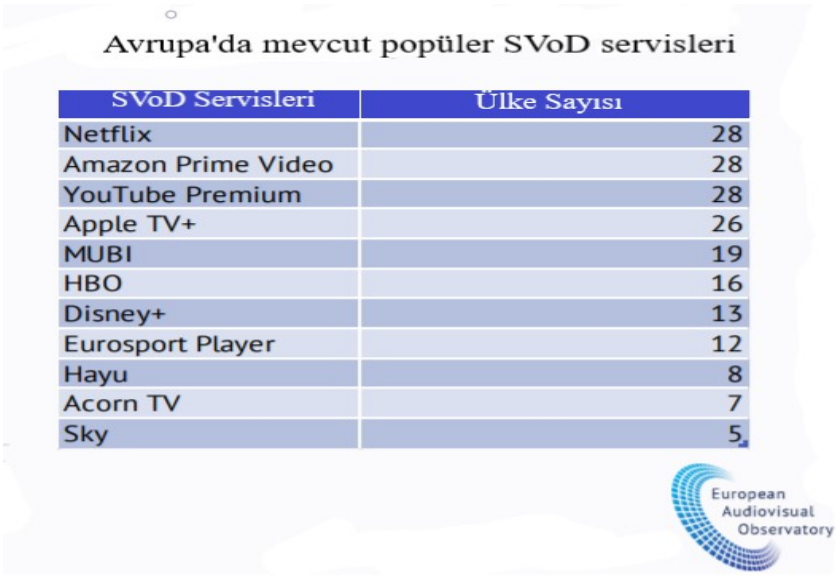
Bu dijital platformlar arasında en önemlileri; Tencent Video, iQiyi ve Youku'dur. 2020 yılı sonu itibariyle bu üç platformun toplam abone sayısının yaklaşık 305 milyon olduğu bilinmektedir.[245]

3.5.4 Avrupa

Avrupa Konseyi Görsel-İşitsel İcra Komitesi (European Audiovisual Observatory) tarafından Avrupa Birliği'ne üye olan 28 ülkede, isteğe bağlı video (VoD) sektörünün 2010-2020 yılları arasındaki eğilimlerini incelemek amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Araştırma 2020 yılına kadar geçen süreyi kapsadığı için

[243] "Video Streaming App Revenue and Usage Statistics (2021)", https://www.businessofapps.com/data/video-streaming-app-market/#TopVideoStreamingApps (01.04.2021)
[244] A.g.k.
[245] A.g.k.

İngiltere de araştırma dahilinde yer almıştır. Yapılan inceleme sonucunda 28 Avrupa Birliği ülkesinde faaliyet gösteren popüler servisler Şekil 3.18'de görülmektedir. Anlaşılacağı üzere Netflix, Amazon Prime Video ve YouTube Premium 28 ülkenin tamamında isteğe bağlı video hizmetlerini sürdürmektedir. Ayrıca edinilen bilgiler, 28 ülkede hizmet veren ortalama platform sayısının 16 olduğunu göstermiştir.[246]



Şekil 3.18 Avrupa Birliği ülkelerinde hizmet veren popüler SVoD platformları[247]

Abone sayısı bakımından incelendiğinde ise 2015-2020 yılları arasında ödemeli TV (Pay TV) aboneliklerinde çok düşük bir oranda artış görülürken, 119.3 milyonluk abone artışının yaklaşık %93'ünün SVoD hizmetinde olduğu anlaşılmıştır. Bu servislerin abonelik bazında 2021 yılı sonuna kadar Pay TV'yi geride bırakacağı ve uzun vadede ise vatandaşların büyük bir kısmı için aboneliğe dayalı temel video servisi olacağı değerlendirilmiştir. Yapılan araştırmanın sonucunda elde edilen bir diğer bilgi ise, abone sayısında Almanya ve Avusturya'da Amazon Prime Video ilk sıradayken, diğer 26 ülkenin tamamında Netflix en fazla abone sayısına sahiptir.[248]

[246] Christian Grece, "Trends in the VOD Market in EU28", European Audiovisual Observatory, Technical Report, (2021), s.3.
[247] A.g.k., s.15.
[248] A.g.k., s.21.



Şekil 3.19 Avrupa Birliği ülkelerinde SVoD ve Pay TV abone sayılarındaki değişim[249]

3.6 MOBİL YAYINCILIK

Mobil haberleşme sistemlerinde LTE'nin yayılımı ve akıllı telefonların yaygın bir şekilde benimsenmesi, mobil iletişimde yeni uygulamaların geliştirilmesi hususunda operatörleri teşvik etmiştir. Hareket halindeyken mobil geniş bant veri erişimi ve iletişim hizmetleri sağlamaya yönelik geleneksel iş modellerinin yanında, mobil ağ operatörleri LTE ağlarının gelişmiş yayın özelliklerinden yararlanmak amacıyla hizmet portföyünü genişletmiştir.

3.6.1 DVB-H (Digital Video Broadcasting – Handheld)

Geleneksel yayın sistemlerinin sayısallaştırılması, son yıllarda bu alanda önemli ilerlemeler görülmesini sağlamıştır. Bu gelişme, son zamanlarda dünyanın birçok ülkesinde faaliyette olan dijital karasal televizyon yayın standartları DVB-T ve DVB-T2 ile ilişkilendirilebilir. Günümüze kadar geçen süre zarfında bu sistemler

[249] Grece, "Trends in the VOD Market", s.21.

Almanya, Birleşik Krallık, Hollanda, İtalya ve Fransa gibi dünyanın birçok ülkesinde kullanılmaktadır. Birçok ülkede karasal televizyon sistemi olarak bu teknolojilerin seçilmesi, DVB standartlarının istisnai özelliklerine dayanmaktadır. Bu özellikler arasında taşınabilir cihazlarla ve hatta arabalarda da yayın hizmetlerini alma imkanı vardır.[250]

Bahsedilen bu yayın teknolojilerinden özellikle DVB-T gibi güçlü bir karasal yayın sisteminin faydaları mobil iletişim endüstrisinin ilgisini çekmiştir. Bu sistemin sunabileceği geniş coğrafi kapsama alanı ve yüksek iletim kapasitesi ile bağlantılı olarak noktadan çok noktaya kablosuz bağlantı yoluyla mobil terminallere ulaşılabilmesi bu sektörün ilgisini çeken özelliklerdir. Uluslararası DVB Projesi, endüstrinin bu ilgisine yeni bir iletim standardı belirleyerek yanıt vermiştir. DVB-H standardı dijital video yayınlarının el terminalleri tarafından alınmasını ifade etmektedir. Teknik şartname üzerindeki çalışmalar 2002 sonbaharında başlamış ve Şubat 2004'te tamamlanmıştır. DVB-H standardı nihayet Kasım 2004'te ETSI tarafından bir Avrupa Normu olarak yayınlanmıştır.[251]

DVB-H teknolojisi, DVB-T standardının bir uzantısıdır. DVB-T ile büyük ölçüde uyumludur ancak küçük, hafif, taşınabilir ve en önemlisi pille çalışan tipik terminallerin belirli özellikleri hesaba katılark tasarlanmıştır. DVB-H, tipik terminallerin çoğu tarafından erişilebilen mobil telekomünikasyon ağında bir geliştirme olarak nitelenen yüksek veri hızında bir aşağı akış kanalı (downstream) sunabilir. Bu nedenle DVB-H, klasik yayın sistemleri ile hücresel radyo ağları dünyası arasında bir köprü oluşturur. DVB-H tarafından sağlanan geniş bant, yüksek kapasiteli aşağı akış kanalı, birkaç Mbit/s toplam veri hızına sahip olacak şekilde tasarlanmış, ayrıca ses ve video akışı uygulamaları, dosya indirmeleri ve diğer birçok hizmet türünü destekleyecek hale getirilmiştir. Böylece sistem, içerik sağlayıcılar ve

[250] Michael Kornfeld ve Ulrich Reimers, "DVB-H - the Emerging Standard for Mobile Data Communication", *Institute for Communications Technology,* (2005), s.1.
[251] A.g.k.

ağ operatörleri için büyük ölçüde genişletilmiş olanaklar sunarak el terminallerine servis dağıtmanın yeni bir yolunu sunmuştur.[252]

Sistem Gereksinimleri

DVB-H sisteminin gereksinimleri 2002 yılında DVB Projesi kapsamında belirlenmiştir. Bu gereksinimler şunlardır:[253]

- DVB-H, kabul edilebilir kalitede ses ve video akışı da dahil olmak üzere taşınabilir mobil kullanım için yayın hizmetleri sunacaktır. Pratikte uygulanabilir veri hızlarının bu amaç için yeterli olması gerektiği belirtilmiştir. DVB-H sistemi için kanal başına 10 Mbit/s'ye kadar faydalı bir veri hızı öngörülmüştür. İletim kanalları çoğunlukla normal UHF yayın bandında tahsis edilecek olup, alternatif olarak VHF Band III kullanılabilecektir.
- Bir DVB-H el terminalinin tipik kullanıcı ortamı, mobil radyo ortamına çok benzemektedir. Bu nedenle DVB-H'nin benzer coğrafi kapsama potansiyeline sahip olması gerekir. El terminali terimi, renkli ekranlı multimedya cep telefonlarının yanı sıra kişisel dijital yardımcıları (Personal Digital Assistant - PDA) ve cep bilgisayarı türlerini içerir. Tüm bu cihazların küçük boyutlu olma, hafiflik ve pille çalışma gibi bir takım ortak özellikleri bulunmaktadır: Bu özellikler, mobil kullanım için bir ön koşul olmakla birlikte, iletim sistemi üzerinde birkaç ciddi kısıtlamayı da beraberinde getirir. Terminal cihazlarında çoğu durumda harici bir güç kaynağı yoktur ve sınırlı bir güç kapasitesiyle çalıştırılmaları gerekir. Makul kullanım ve bekleme döngüleri elde etmek için düşük güç tüketimi gereklidir.
- Mobilite (hareketlilik) ek bir gerekliliktir, başka bir deyişle hizmetlere erişimin yalnızca tüm iç ve dış mekanlarda değil, aynı zamanda bir araçta yüksek hızda hareket ederken de mümkün olması gerekir. Ayrıca, bitişik DVB-H radyo hücreleri arasındaki geçiş, daha büyük mesafeler boyunca hareket ederken fark edilmeden gerçekleşecektir. Ancak, hızlı değişen

[252] Michael Kornfeld ve Ulrich Reimers, "DVB-H - the Emerging Standard for Mobile Data Communication", s.2.
[253] A.g.k.

kanallar çok fazla hatanın ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. El cihazlarına yerleştirilen antenlerin sınırlı boyutlarda olması ve terminal hareket halindeyken vericiye doğrultulamaması, durumu daha da kötüleştirebilir. Çok antenli çeşitlilik yaklaşımı, alan sınırlamaları nedeniyle çoğunlukla imkansızdır. Ayrıca, aynı cihaz içinde iletilen ve alınan GSM mobil radyo sinyallerinden enterferans (parazit) oluşabilir. Sonuç olarak, el terminalleri ile birkaç Mbit/s'lik bir akış aşağısına erişim çok zorlu bir işlem olabilir.

Sisteme genel bir bakış

Bir iletim standardı olarak DVB-H, en düşük protokol katmanlarının yanı sıra fiziksel katman öğelerini de içinde barındırmaktadır. Bu sistem farklı hizmetlerin zamanla çoğullanmış iletimini temel alan bir güç tasarrufu algoritması kullanır. Zaman dilimleme olarak adlandırılan teknik, büyük bir pil gücü tasarrufu etkisi sağlar. Ek olarak zaman dilimleme, alıcının ağ hücresinden ağ hücresine yalnızca bir alıcı birim ile hareket etmesi durumunda yumuşak geçişe izin verir. Zayıf sinyal alım koşullarında güvenilir iletim için bağlantı katmanında gelişmiş bir hata koruma şeması sunulmuştur. Bu şema MPE-FEC (Multi-Protocol Encapsulation – Forward Error Correction) olarak da bilinen çoklu protokol kapsülleme ve ileri hata düzeltme olarak adlandırılır. MPE-FEC, DVB-T spesifikasyonunda bulunan kanal kodlamasının üstünde güçlü kanal kodlamasını kullanır ve bir dereceye kadar zaman serpiştirme sunar. Ayrıca DVB-H standardı, mobil alım için çok uygun olan tek frekanslı ağların (Single Frequency Network - SFN) tasarımında ek esneklik sunan bir ağ modu olarak bilinen 4K moduna sahiptir ve çeşitli hizmetlere erişimi iyileştirmek için gelişmiş bir sinyal kanalı sağlar. Bunların yanı sıra DVB-H sisteminde 64 QAM modülasyon tekniği ve 8 MHz bant genişliğinin kullanılmasıyla 22.12 Mbit/sn'lik veri transfer hızına ulaşılabilmektedir.[254]

[254] Michael Kornfeld ve Ulrich Reimers, "DVB-H - the Emerging Standard for Mobile Data Communication", s.3.

3.6.2 DVB T2-Lite

Analog sistemlerin dijitalleştirilmesiyle beraber birçok ülkede DVB-T ve DVB-T2 karasal yayın ağları, dijital televizyon hizmetlerinin yerel alıcılara ulaştırılması için kurulmuş ve planlanmıştır. Ağların çoğu, çatı anteni alma sistemleri olan sabit terminallere hizmet sağlamak üzere tasarlanmıştır, ancak tabletler veya araç içi alıcılar gibi taşınabilir cihazlarda mobilitede TV izlemeye yönelik taleplerde sürekli bir artış meydana gelmiştir. Bu artış doğrultusunda DVB-H standardı geliştirilmiş ancak iletim verimliliği ve ağ maliyetleri, belirsiz iş modelleri ve zayıf terminal performansları gibi birçok nedenden dolayı sınırlı bir başarıya sahip olmuştur. Günümüzde, terminal cihazlar alanında büyük değişiklikler meydana gelmiş, tabletlerin ve akıllı telefonların başarısıyla kullanıcılar artık yüksek mobilitede video görüntüleyebilen cihazlara sahip olmuştur. Buna ek olarak, kullanıcılar evde veya çevrede yaygın olarak bulunan 3G/4G/5G ağları ve WiFi bağlantıları sayesinde çok çeşitli cihazlarda VoD ve canlı video içeriği tüketimine alışmaktadır. Ancak, birden fazla hücre aktarımı ve ağ kapasitesi, kablosuz bir ağ üzerinden canlı video akışını kötü bir kullanıcı deneyimi haline getirebilmektedir. Ayrıca izleyici toplumun giderek artması, kullanıcılarına tek noktaya yayın ile hizmet vermeye çalışan mobil operatör ağlarına ciddi şekilde problem teşkil etmeye başlamıştır. 3G/4G ağ sistemlerinin kapasite sorunları olduğunda ve yüksek kalitede hizmet sağlayamadığında, bu sorunların üstesinden gelmek için olası bir seçenek, daha fazla spektrum kullanımının dışında trafiği Wi-Fi veya yayın ağları gibi diğer teknolojilere yüklemektir. Teknik ve ekonomik açıdan yayın ağları, yoğun saatlerde veya büyük etkinliklerde büyük izleyici kitlesine ulaşmak için kesinlikle en iyi dağıtım şekli olarak nitelendirilebilir. Bu nedenle Haziran 2011'de DVB tarafından, taşınabilir ve mobil alımı daha iyi desteklemeyi amaçlayan T2-Lite adlı standardın yeni bir versiyonu tanıtılmıştır.[255]

[255] "DVB-T2 lite in Aosta Valley", http://www.crit.rai.it/CritPortal/progetti/?p=521&lang=en (15.08.2021)

2011 yılında DVB-T2 standardına eklenen DVB T2-Lite standardı karasal sayısal yayıncılık için kullanılan DVB-T2 standardının mobil alış için özelleştirilmiş halidir. Bu standart hem ses hem görüntü için ayrı ayrı kullanım imkânına sahiptir. Ayrıca bu standartta, DVB-T2'de olduğu gibi meydana gelebilecek gelişmeler için FEF (Future Extension Frames – Gelecek için Uzantı Çerçeveleri) seçeneği bulunmaktadır. Bu seçenek kullanılarak farklı aktarımlar için veri paketinde kapasite imkanı sağlanabilmektedir.[256]

Avrupa'da Open Channel adlı şirket tarafından 2010 yılında Danimarka'nın Kopenhag kentinde DVB-T2 yayınlarına başlandığını duyurmuştur. Aynı şirket 2012'de yeni DVB-T2 profiline dayalı T2-Lite sistemiyle yeni nesil mobil TV'nin UHF kanal 39'da (618 MHz) ve dijital radyonun VHF kanal 9D'de (208.064 MHz) yayınlandığını bildirmiştir. 2016'da ise taşınabilir cihazda alım için yüksek verimli video kodlama (High Efficiency Video Coding – HEVC) test edilmeye başlanmıştır. 2014'ün sonlarından itibaren çoğu mobil donanım, özel HEVC oynatmayı destekler nitelikte tasarlanmıştır. Bunun nedeni HEVC'nin entegre edildiği DVB-T2 veya T2-Lite standartlarının SD ve HD kalitede videoları mobil cihaza yayınlamak için verimli yeni bir platform oluşturmuş olmasıdır.[257]

3.6.3 LTE Üzerinden Yayıncılık (LTE Broadcasting – LTE-B)

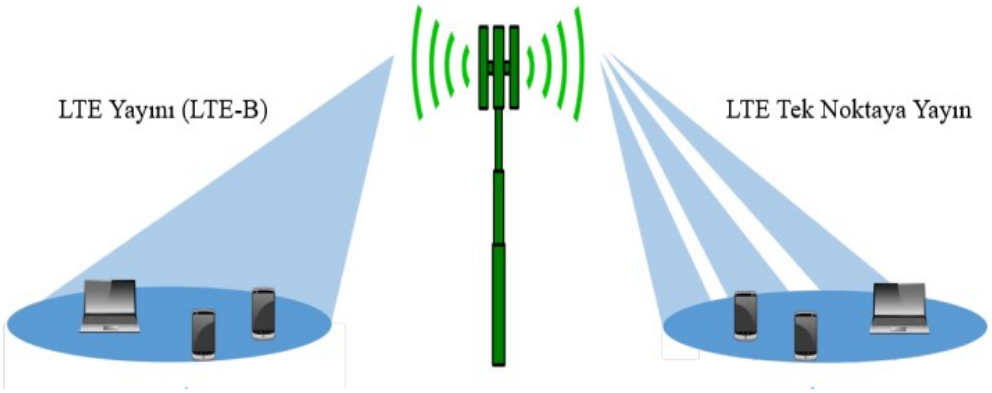
LTE üzerinden yayıncılık (LTE Broadcasting – LTE-B) veya gelişmiş Çok Noktaya Multimedya Yayın Hizmeti (evolved Multimedia Broadcast Multicast Service - eMBMS), 3GPP tarafından standartlaştırılmıştır. Yayın, geleneksel olarak medya içeriğinin gerçek zamanlı iletimi ile sınırlandırılmış olsa da, eMBMS

[256] Şakir Ağırbaşlı, "Sayısal Yayıncılık Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Frekans Spektrumu Kullanımı", Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, 2017, s.94.
[257] "DVB-T2 Lite | First Deployments, First Experiences | Next Generation of Digital Radio & Mobile TV", https://www.linkedin.com/pulse/dvb-t2-lite-first-deployments-experiences-next-digital-kenneth-wenzel (15.08.2021)

teknolojisinin tek kullanım durumu yalnızca video akış hizmetinden ibaret değildir.[258]

Mobil ağlar, son kullanıcılara içerik sunmak için geleneksel olarak tek noktaya yayın yaklaşımı kullanır. Başka bir deyişle, farklı kullanıcılar aynı içeriği almak istese bile, farklı cihazlara yapılan aktarımların tümü operatörün spektrum kaynağının farklı bölümleri kullanılarak gerçekleştirilir. Örnek olarak, aynı hücre içerisinde yer alan on kullanıcı aynı canlı TV içeriğini almak isterse, ağın bu içeriği ayrı ayrı on kez iletmesi gerekir.

LTE-B, mobil operatörlerin popüler içerik veya verilerin yayınlanması için ağ kapasitelerinin bir kısmını kullanmalarına olanak tanıyan bir standarttır ve 3GPP teknolojisi olan eMBMS ile hayata geçirilmesi planlanmıştır. Bu teknoloji; bir içeriğin (müzik, video, TV veya başka bir veri hizmeti) her bir kullanıcıya ayrı ayrı yayınlanması yerine, tek bir hücrede ve aynı yayın akışı içerisinde birden çok kullanıcıya yayınlanabileceği anlamına gelir. Çok noktaya yayın yaklaşımı sayesinde içerik bir kez gönderilir ve Şekil 3.20'de gösterildiği gibi onu almak isteyen tüm kullanıcılara aktarılır.[259]



Şekil 3.20 LTE-B ve LTE-tek noktaya yayın(Unicast)[260]

[258] GSMA, "Network 2020: The 4G Broadcasting Opportunity", White Paper, (2020), s.4.
[259] LTE Broadcast Alliance, "LTE Broadcast – Lessons Learned from Trials and Early Deployments", White Paper, (2016), s.1.
[260] GSA, "Evaluating the LTE Broadcast Opportunity", White Paper, (2015), s.7.

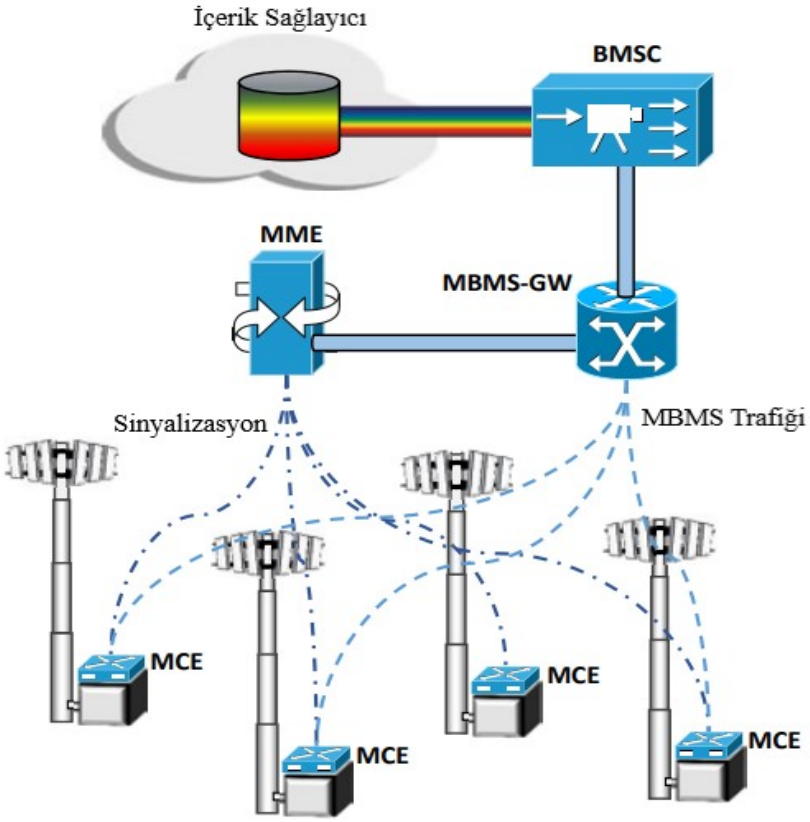
Yayın teknolojisi, üçüncü nesil mobil sistemler (UMTS) için 3GPP standartlarına dahil edilmiş olsa da 3G'nin odak noktası mobil geniş bant sunmak olduğu için bu özellik yayıncılık alanında rekabet ortamı oluşturamamıştır. 4G'nin özelliklerinden biri olan eMBMS teknolojisi, mobil ağlar üzerinden yayın hizmetlerinin uygun bir hale getirilerek sağlanması için hem performans hem de teknik özellikler açısından geliştirilmiştir. Buna yönelik olarak 2016 yılında birçok şebeke operatörü tarafından ticari faaliyetler gerçekleştirilerek çok sayıda ülkede test denemeleri yapılmıştır.[261]

Geleneksel hücresel iletişim, iki uç noktaya hizmet veren taşıyıcı aracılığıyla noktadan noktaya sağlanırken, eMBMS aynı iletimin birden çok kullanıcıya paylaşımlı taşıyıcılar aracılığıyla gerçekleştirilmesine izin verir. Bu noktada eMBMS, mobil operatörler için birtakım avantajlara sahiptir. Bu avantajlar şunlardır:[262]

- eMBMS, mevcut LTE altyapısını ve spektrumunu kullanır ve kullanıcı cihazında tek noktaya ve çok noktaya yayın arasında geçiş yapma olanağı sunar.
- Bu teknoloji; aynı içeriği, canlı yayını veya yazılım güncellemelerini tek bir gönderimle kullanıcı cihazına yükleme işlemini gerçekleştirir ve böylece aynı hücre içerisinde birden fazla kullanıcıya aynı içerik aynı anda gönderildiği için ağ verimliliği artar.
- Bu teknolojiyle neredeyse sınırsız sayıda kullanıcının aynı içeriğe erişebilmesi sayesinde yayın hizmetleri ölçeklendirilebilir.

[261] GSMA, "Network 2020: The 4G Broadcasting Opportunity", s.4.
[262] A.g.k., s.5.

eMBMS'nin mimari yapısında Şekil 3.21'de görüleceği üzere dört ana ağ bileşeni bulunmaktadır:[263]



Şekil 3.21 eMBMS ağ mimarisi[264]

- **Çok Noktaya Yayın Hizmet Merkezi (Broadcast Multicast Service Center – BMSC):** BMSC, eMBMS kullanıcı hizmeti sağlama ve eMBMS iletimlerinin teslimi gibi işlevlere sahiptir. İçerik sağlayıcıyla etkileşime giren ve genel servisi kontrol eden ağ geçididir.

- **MBMS Ağ Geçidi (MBMS-GW):** Tek bir iletimde birden çok hücreye ulaşan IP çok noktaya yayın (IP Multicast) sistemini kullanarak MBMS trafiğini sağlar.

[263] A.g.k., s.13.
[264] Viavi," LTE Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services (eMBMS)",White Paper, (2015), s.2.

- **Çok Noktaya Yayın Koordinasyon Birimi (Multicast Coordination Entity - MCE):** MBMS hizmet alanının parçası olan tüm unsurlar için radyo kaynaklarının yönetiminden sorumludur.

- **Mobilite Yönetim Birimi (The Mobility Management Entity - MME):** Oturum başlatma, güncelleme ve durdurma dahil olmak üzere MBMS kontrol sinyalizasyonunu gerçekleştirir ve ayrıca servis kalitesi (Quality of Service - QoS) ve hizmet alanı gibi hususlarda MCE'ye gerekli bilgileri gönderir.

LTE üzerinden yayın özelliği, geleneksel ağlar üzerinden yapıldığında verim alınamayan birtakım iş alanlarına, operatörlerin yeni fırsatlar ortaya çıkararak katkıda bulunmasını sağlayabilir. Bu kapsamda LTE yayıncılığının bazı iş modelleri aşağıda ifade edilmiştir:[265]

Lokal canlı yayın: Sportif aktivite veya konser gibi etkinliklerde daha iyi bir görüş ve izleyicilerin keyif alabileceği ek bilgiler sağlamak amacıyla etkinlik alanından canlı yayın yapılmasıdır. Örneğin, bir spor stadyumunda seyirciler için sporcuların yakın çekiminin yayınlanması, kameralardan birinde anında tekrar oynatma, sporcu istatistikleri, mekan düzeni ve güvenlik duyuruları gibi uygulamalar hayata geçirilebilir.

Ses akışı: Ses akışı, en uygun ifadeyle FM/AM radyo kanallarıyla açıklanabilir. LTE-B, bu radyo kanallarını değişime sokarken yeni multimedya içerikleriyle daha yüksek kaliteli bir ses imkanı sağlar. Ayrıca, operatörlerin bu yüksek kaliteli multimedya içeriklerini kalabalık alanlarda bile yayınlamasını kolaylaştırabilir. Bu hizmetin mevcut tek noktaya yayın sistemiyle gerçekleştirilmesinde zorluklar yaşanacağı muhtemeldir. Ek olarak LTE-B'nin, tipik olarak ülke çapında dağıtılan LTE ağlarından yararlandığı için hem ulusal hem de yerel istasyonlar kurma imkanı da bulunmaktadır.

[265] GSMA, "Network 2020: The 4G Broadcasting Opportunity", s.20.

Yazılım güncellemesi: Planlanmış yazılım güncellemeleri; talep anında indirilmesi yerine, programlı bir güncelleme yapılması anlamına gelir. Bu şekilde operatörler, tek noktaya yayın trafiğini olumsuz etkilemeden, eMBMS'ye daha fazla kaynak tahsis edilebildiği yoğun olmayan zamanlarda yazılım güncellemelerinin dağıtımını gerçekleştirebilir.

Yukarıda bahsedilen avantajlarının yanı sıra, eMBMS'nin dağıtımı ve yaygınlaşmasının sağlayacağı bir diğer getiri, spektrum verimliliğini artırmasından dolayı kullanımına gerek kalmayacak olan bant genişliklerinin yeniden tahsis edilebilmesidir. Özellikle kıt bir kaynak olan frekans spektrumunun verimli kullanılabilmesi, ülkeler ve operatörler için büyük bir önem arz etmektedir.

Birtakım sebeplerden ötürü eMBMS yaygın bir şekilde benimsenememiştir. Bunun önündeki temel engeller arasında; kurulumun belirli bir maliyetinin olması, cihaz bağımlılığı, kullanıcıların bu teknolojiye sahip olma adına daha fazla ücret verme konusundaki isteksizliği gösterilebilir.[266] Bununla birlikte, LTE'den 5G'ye doğru yaşanacak teknolojik gelişmelerin, LTE-B'nin iş modellerini sürdüreceği düşünülmektedir. 5G'nin yayılımı ile LTE-B'nin sağlayacağı yenilikler önem kazanacaktır. Sahip olduğu üstün özellikleriyle 5G; IoT, VR ve V2X gibi uygulamaları etkinleştirerek yeni bir seviyeye taşıyacak ve mevcut şebekelere kıyasla yüksek veri hızı, iyileştirilmiş gecikme süresi ve güvenlik özellikleriyle LTE-B'de planlanan içerik, yazılım ve güvenlik güncellemelerinin milyonlarca bağlı cihaza verimli bir şekilde dağıtılmasını sağlayacaktır.[267]

3.6.4 5G ve Yayıncılık

Radyo ve televizyon yayıncılığı alanında faaliyet gösteren kuruluşlar, hızla değişen bir medya ortamında, yeni uygulamalardan kaynaklı rekabet ortamı ve

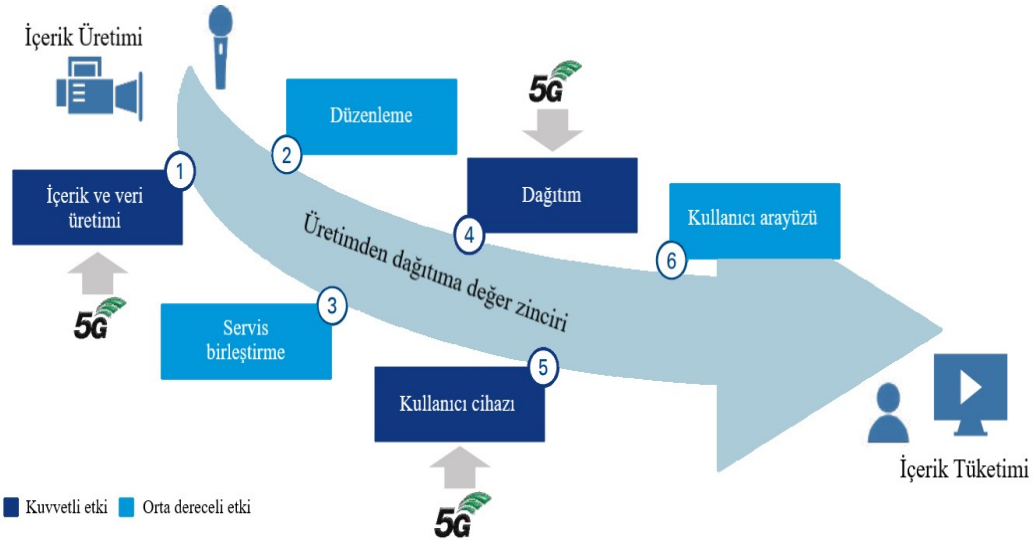
[266] GSMA, "Network 2020: The 4G Broadcasting Opportunity", s.8.
[267] "Network 2020: The 4G Broadcasting Opportunity", s.10.

değişen tüketici alışkanlıklarının yanı sıra, yeni teknolojiler nedeniyle teknik gereksinimleri yerine getirme noktasında problemlerle karşı karşıya kalabilmektedir. 5G'nin sağlayacağı avantajlarla, yayıncıların meydana geleceği düşünülen dijital dönüşümü başarıyla geçirmelerine ve içerik üretimi ile dağıtımında pazardaki konumlarını güçlendirmelerine yardımcı olabileceği öngörülmektedir. 5G; yüksek veri hızları, azaltılmış gecikme süreleri, artırılmış bant genişliği ve genişletilmiş kapsama alanı gibi özellikleriyle, bu teknolojik evrimi bir iş modeli devrimi ile birleştirecektir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere yayıncılar, yaşanan teknolojik gelişmelerin temelinde medyanın dijital dönüşümü, izleyici alışkanlıkları ile beklentilerinin hızla değişmesi nedeniyle birtakım teknik gereksinimlerle karşı karşıyadır. Netflix, Amazon, Disney ve DAZN gibi yayın şirketleri, yoğun bir rekabetin olduğu bu sektöre devasa yatırımlar yapmaktadır. Örneğin, Amazon şirketi bir sezonda 20 İngiliz Premier Ligi maçını canlı yayınlama hakkını satın alırken, Netflix içerik üretimi için yıllık 15 milyar dolar harcamıştır. Yayıncılar arasında bu rekabet yaşanırken, medya endüstrisinde tüketim alışkanlıklarında da köklü değişlikler yaşanmaktadır. Lineer (doğrusal) izleyicilikten lineer olmayan izleyiciliğe doğru yavaş yavaş geçiş yapan izleyici kitlesinin bu tutumu, medya kuruluşlarını gitgide daha özel ve orijinal içerik oluşturma hususunda teşvik etmektedir.[268]

Bunun yanı sıra izleyicilerin çoğu, içeriklere yalnızca televizyon vasıtasıyla değil, geniş bir yelpazeye sahip mobil cihazlarla da erişim sağlamaya başlamıştır. Bu doğrultuda mobil cihaz ve mobil veri kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır. Bazı dev medya şirketleri, Disney+, Joyn ve Britbox gibi kendi yayın hizmetlerini sunarak bu eğilime ayak uydurabilmektedir. Ancak altyapı yatırımları yapmayan birçok yayıncı, bu gelişmelerden faydalanamamaktadır.[269]

[268] Arthur D. Little, "Broadcasters' 5G Evolvement within a Hybrid Environment", White Paper, (2020), s.4.
[269] A.g.k.



Şekil 3.22 Yayıncılık değer zincirinde 5G'nin etkileyeceği düşünülen önemli noktalar[270]

Oldukça rekabetçi bir sektöre ek olarak, izleyici alışkanlıklarındaki karmaşıklık ve sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR), 4K/8K çözünürlüklü video gibi yeni teknolojiler, yayıncılık endüstrisine ek zorluklar getirmektedir. Başta içerik üretimi ve dağıtımı olmak üzere, oluşturulan verileri toplamak ve bir araya getirmek için bulut sisteminin kullanımı, üretilen içeriklerin 4K/8K'ya uyarlanması ve VR/AR teknolojisinin entegre edilmesi öngörülen başlıca zorluklardır.

Yapılan araştırmalar neticesinde kamu ve özel yayıncıların sektördeki konumlarını güçlendirmesi ve Netflix gibi teknoloji devlerine karşı mücadele edebilmeleri adına yararlanabilecekleri üç temel dinamik bulunmaktadır:[271]

- Rekabetçi bir maliyet düzeyinde küresel şirketlerden farklılaşmak amacıyla daha fazla yerli ve orijinal içerik oluşturulması,
- Bireylerin tüketim alışkanlıklarının iyi öğrenilmesi ve yeni nesil içeriklerin (AR, VR, 8K, mobil) oluşturulması,

[270] Arthur D. Little, "Broadcasters' 5G Evolvement within a Hybrid Environment", s.4.
[271] A.g.k.

- İçeriklerin çok kanallı bir yaklaşımla (her zaman ve her yerde) dağıtılarak, özellikle genç kitlelere erişim kolaylığının sağlanması.

Yayın şirketlerinin, gerekli dijital dönüşümün başarıyla üstesinden gelmeleri ve içerik üretimi ile dağıtımındaki pazar konumlarını güçlendirmeleri için 5G teknolojisinin önemli bir basamak olacağı düşünülmektedir.

3.6.4.1 FeMBMS

5G'de yayın hizmetleri, 3GPP'de "Daha fazla geliştirilmiş Çok Noktaya Multimedya Yayın Hizmeti" (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service - FeMBMS) olarak adlandırılan yayın standartlarına dayanmaktadır. Lineer medya içeriğinin 60 kilometreye kadar yarıçaplı bir alanda radyo hücreleri aracılığıyla dağıtımını sağlar. Bu şekilde, yüksek bir kuleden yüksek güçlü bir verici kullanılarak tek bir veri akışı sağlanabilmektedir.[272] Bu vericinin kapsama alanı içindeki tüm mobil cihazlar, bu veri akışı yoluyla dağıtılan programları alabilir. Sinyal, tüm alıcı cihazlara yalnızca bir kez dağıtıldığından, hücre başına düşen alıcı cihazından dolayı yoğun bir ağ trafiği olmaz ve bu nedenle birçok cihazın bağlantı kurması durumunda bile programların kalitesi düşmez.

Bir aktarım standardı olan FeMBMS, 3GPP tarafından geliştirilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi 3GPP, mobil telekomünikasyon için protokol ve standartlar geliştiren bir organizasyondur. 3GPP standartları, sürümlerden meydana gelmektedir. FeMBMS ilk olarak yayıncılara has özellikler içeren Sürüm-14 (2017) ile tanıtılmıştır. Devam eden çalışmalar neticesinde Sürüm-16'da (2020) daha fazla iyileştirme yapılmış ve "5G Yayını" olarak da bilinen "LTE tabanlı karasal 5G yayını" olarak yayınlanmıştır.[273]

[272] "5G Broadcast New Technology Makes Linear Television Mobile", https://www.ors.at/en/5g-broadcast/the-underlying-technology/ (02.04.2021)
[273] A.g.k.

Temel Yayıncı Gereksinimleri

3GPP, 5G yayıncılığı aracılığıyla lineer ve lineer olmayan medya hizmetlerinin dağıtımını sağlamak amacıyla yayıncı gereksinimlerini tanımlamıştır. Bu gereksinimler şunlardır:[274]

- Evrensel Erişim (Universal access): Yasal gerekliliklere uygun olarak coğrafi mevcudiyet (Örneğin; ulusal, bölgesel, yerel)
- Ücretsiz Erişim (Free to Air - FTA): Kullanıcıların, servis sağlayıcıya veya şebeke operatörüne abone olmak zorunda kalmadan içeriğe erişebilmesidir.
- Hizmet Kalitesi (Quality of Service - QoS): Hizmet kalitesi, yayın istasyonları tarafından yapılan hizmet seviyesi anlaşmaları ile tanımlanır. Örneğin; gecikme süresi, güvenilirlik, sağlamlık ve ağ aktarımlarının kullanılabilirliği.
- Ölçeklenebilirlik (Scalability): Tanımlanan hizmet kalitesinin, tüm kullanıcılar için hedef kitlenin boyutundan bağımsız olmasıdır.
- Erişilebilirlik (Accessibility): Engelli bireyler için sağlanan hizmetlerdir (Altyazılar veya sesli açıklamalar).
- Acil Durumlar: Bir felaket veya kriz durumunda izleyicilere ulaşabilme.

5G Yayınının Temel İşlevleri

5G yayınının en temel amaçlarından biri, yayıncılara geleneksel televizyonların yanı sıra, mobil cihazlara yerleştirilecek bir çip ile lineer televizyon yayınlarını sağlama imkanı vermektir. Bu standart ayrıca lineer olmayan içeriğin de iletimi için kapasitenin dinamik kullanılmasına olanak tanır. Bununla birlikte, kapasitelerin dinamik kullanımı düzenleyici kurumlar için bazı değişiklikler ve daha fazla gelişim anlamına gelmektedir.

[274] "5G Broadcast New Technology Makes Linear Television Mobile".

5G yayını ile medya dağıtımında, internet üzerinden içerik dağıtımı için (OTT) kullanılan formatların (HLS, DASH) aynılarını kullanmak mümkün hale gelmektedir. Bu durum, hizmet ve deneyim kalitesi parametrelerine bağlı olarak dağıtım kanalları arasında sorunsuz geçiş için bir kolaylık sağlar ve tüketiciler için her zaman en iyi medya deneyimini sunar. Ayrıca, 5G yayın standartları kullanılarak aktarılan lineer içerik, internet üzerinden aktarılan ek içerikle kolayca kişiselleştirilebilir ve kullanıcı mobil cihazında birleştirilebilir.[275]

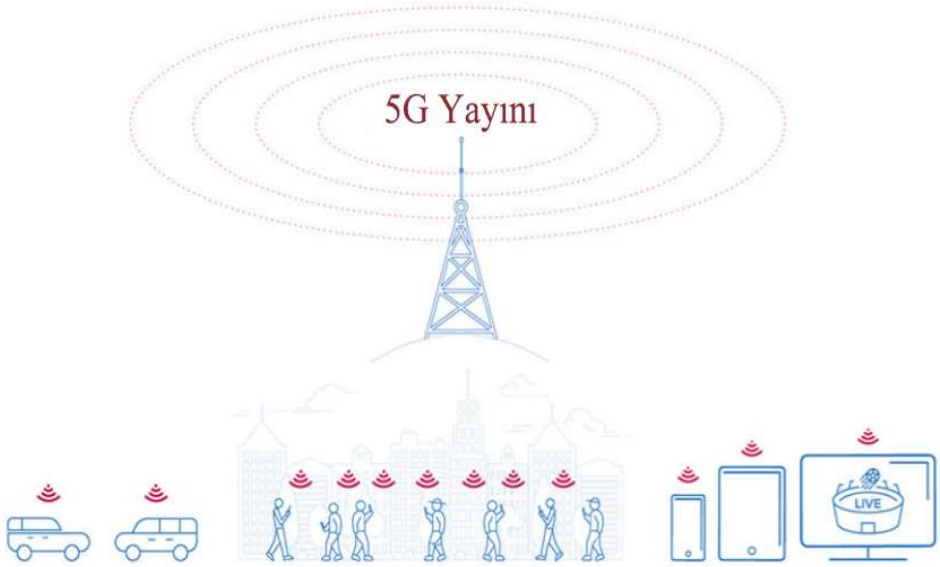
FeMBMS'nin bir diğer önemli temel özelliği, içeriğin internet bağlantısına ihtiyaç duymadan alınmasıdır. Bu ücretsiz bağlantı özelliği, müşterilerine herhangi bir kısıtlama olmadan ulaşmak isteyen kamu yayıncıları için önemlidir. Bununla birlikte, yalnızca downlink bağlantı teknolojisi ile yüksek güçlü yüksek kulelerden (High-Tower High-Power - HTHP) yayın alımını mümkün kılmak için mobil cihazlarda uyarlanmış çiplerin kullanılması gerekmektedir.[276]

5G Yayın İletim Standardının Sunacağı Avantajlar

FeMBMS iletim standardında tek bir veri akışı, kapsama alanındaki tüm uç cihazlara bir yüksek güçlü yüksek kule (HTHP) tarafından dağıtılır. Bilindiği gibi, mobil haberleşme şebekelerinde bu durumun tersine, her bir son kullanıcı cihazı için ayrı bir veri akışı gerçekleştirilmektedir. 5G yayını sayesinde, kapsamı geniş olan canlı yayınlar sırasında mobil haberleşme ağlarının yoğun trafiği hafifletilebilir ve ayrıca 5G sistemlerinin sunduğu yüksek güvenilirlik özelliğinden faydalanılabilir. Bununla birlikte mevcut dağıtım şebekelerine kıyasla FeMBMS'nin sahip olduğu diğer avantajlar şu şekilde sıralanabilir:[277]

[275] "5G Broadcast New Technology Makes Linear Television Mobile" .
[276] A.g.k.
[277] "5G Broadcast Brıngs Benefits At All Lebels", https://www.ors.at/en/5g-broadcast/the-advantages/ (02.04.2021)

- 5G yayın standardı kullanılarak yapılan dağıtımlarda, akıllı telefonlar ve tabletler gibi mobil cihazlarda lineer televizyon yayınlarının alınması mümkün kılınır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 5G Yayını[278]

- Bu yayın standardı ile sınırsız sayıda kullanıcıya aynı anda ulaşılabilir ve bu sayede akışta olduğu gibi aşırı ağ kullanımı ve kalite kaybı yaşanmaz.
- Yayıncılar müşterilerine doğrudan, uygun maliyetli ve herhangi bir ayrım söz konusu olmadan ulaşmaya devam edebilirler.
- Lineer TV veya radyo hizmetlerinin tüketimi, mobil operatörlerce sağlanan mobil veri hacmini tüketmez.
- Bu yeni iletim standardı, yaşanan büyük olaylar sırasında diğer mobil şebekelerin yükünü hafifletebilir.
- 5G yayını, otonom ve bağlı araçlarda araç içi eğlence gibi medya endüstrisi için geniş kapsamlı bir potansiyele sahiptir.

[278] "5G Broadcast Brıngs Benefıts At All Lebels".

5G Yayın İletimine İlişkin Test Denemeleri

Almanya, Avusturya, İtalya ve İspanya gibi birçok Avrupa ülkesinde 5G yayını ile ilgili olarak çeşitli araştırma ve çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar içerisinde kapsamlı ve en güncel olan test denemeleri Avusturya'da sürdürülmektedir. Avusturya'da 5G yayını kurmak amacıyla ORS adlı yayın kuruluşu, 2020 başlarında Viyana'da bir deneme sürecini başlatmıştır. Bu süreçte yeni iletim standardı olan FeMBMS'nin, Viyana'nın Kahlenberg ve Liesing bölgelerinde iki adet yüksek güçlü yüksek kule (HTHP) kurularak iki aşamada inceleneceği belirtilmiştir. 2021 Haziran'a kadar sürecek olan ilk aşamada, mobil iletim teknolojisi olan FeMBMS ile karasal televizyon için mevcut yayın standardı olan DVB-T2 karşılaştırılacaktır. Viyana Teknoloji Üniversitesinin iş birliğinde yürütülen çalışmalarda, FeMBMS'nin bağlantı düzeyindeki özellikleri simüle edilmiştir. Ayrıca farklı kapsama durumları için veri hızları ve alım kalitesini elde etmek amacıyla çok sayıda parametreye simülasyonlar yapılmıştır. ORS teknik ekibi ve ölçüm araçları 2020 yazından bu yana farklı yürüme ve sürüş hızlarını simüle etmek ve sinyal alım kalitesini test etmek amacıyla Viyana'da çalışmalarını sürdürmektedir. Bunun yanı sıra HTTP üzerinden canlı yayın ve mobil iletişim ile FeMBMS verilerinin mobil cihazlarda eş zamanlı olarak işlenmesi de incelenen konular arasında yer almaktadır. Araştırma sonuçlarının 2021 yılı sonuna doğru kamuoyu ile paylaşılması planlanmaktadır.[279]

[279] "5G Broadcast Testbed In Austria", https://www.ors.at/en/5g-broadcast/testbed-in-austria/ (03.04.2021)



Şekil 3.24 5G yayınına ilişkin ORS teknik ekibinin devam eden saha çalışmaları[280]

3.6.5 5G Mobil Şebekesi Üzerinde Yapılan Canlı Yayın Denemeleri

5G mobil şebekesi üzerinden yayın iletilmesi amacıyla yapılan test denemesi Türk Telekom tarafından gerçekleştirilmiştir. 360° kamera açısına sahip sanal gerçeklik (VR) teknolojisinin kullanıldığı deneme yayını, Fenerbahçe Beko – Türk Telekom basketbol karşılaşmasında test edilmiştir. Yayın, Türk Telekom ve Huawei'in iş birliği ile kurulan canlı 5G test şebekesi üzerinden, yeni nesil yayıncılık teknolojileri üreticisi Garage Atlas adlı şirket tarafından sağlanan 360° kamera açısıyla ve 4K çözünürlüğünde aktarılmıştır. Türk Telekom CEO'su Ümit Önal konuya ilişkin şu açıklamada bulunmuştur:[281]

> *"Mobil baz istasyonlarımızın yarısına yakınını 5G'nin yapı taşı fiber ile altyapımıza bağladık. 5G alanında geliştirdiği ürün ve teknolojilerin yanı sıra şu an Türk Telekom'un, fiber altyapı yaygınlığı bakımından da 5G'ye en hazır operatör konumunda olduğunu rahatlıkla söyleyebilirim. Diğer yandan, önümüzdeki dönemde*

[280] "5G Broadcast Testbed In Austria".
[281] "Türk Telekom Türkiye'nin ilk gerçek 5G canlı maç yayınını 360 derece kamera açısı deneyimiyle gerçekleştirdi", https://medya.turktelekom.com.tr/turk-telekom-turkiyenin-ilk-gercek-5g-canli-mac-yayinini-360-derece-kamera-acisi-deneyimiyle-gerceklestirdi/ (04.04.2021)

hayatımızın birçok alanında yer alacak 5G teknolojisini TV yayıncılığı gibi farklı platformlarda da kullanacağız."

Türkiye Basketbol Federasyonu Başkanı Hidayet Türkoğlu ise şu ifadeleri kullanmıştır:[282]

"Türkiye'nin ilk 5G canlı maç yayını deneyimini bir basketbol müsabakasında yaşamak camiamız adına mutluluk verici olmuştur. Seyircinin deneyimini ve seyir zevkini artıracak her türlü adımın geri dönüşü de mutlaka olumlu olacaktır. Türkiye Basketbol Federasyonu olarak, basketbolumuzun seyir zevkini artıracak her türlü gelişmeyi destekliyoruz. 5G canlı maç yayını deneyimi bu tecrübeyi bambaşka bir yere taşımıştır."

Ayrıca 5G'ye hazırlık çalışmaları kapsamında Turkcell tarafından, Trabzonspor Şenol Güneş Spor Kompleksi Medical Park Stadyumu'na 5G altyapısı kurulmuştur. Adı geçen stadyum Turkcell ile Huawei'nin ortak olarak yürüttüğü çalışmalar sonucu 5G'ye hazır hale getirilmiştir. Yüksek hızlı 5G şebekesinin aktifleştirildiği stadyumda, hem tribünde yer alan hem de maçı dışarıdan takip eden taraftarların maç izleme tecrübeleri zenginleşecek ve istenilen açıdaki kameradan maçı gerçek zamanlı takip etmeleri mümkün hale gelecektir.[283] İlk denemelerin yapıldığı Şubat 2020'de Trabzonspor-Fenerbahçe mücadelesi öncesi gerçekleştirilen canlı yayında izleyiciler, 5G şebekesi üzerinden canlı televizyon yayınını tecrübe etmiştir. Trabzon'da Turkcell'in 5G test altyapıyla gerçekleşen ilk 5G TV canlı yayınında, kodlayıcı ve batarya altyapısı yer almıştır. 5G teknolojisi sayesinde hafifletilmiş ve kolay taşınır özel sırt çantası kullanılmış, kameraya bağlanan bu özel çantayla alınan görüntüler daha sonra 5G el terminali kullanılarak, Turkcell 5G test şebekesi üzerinden yayın kanalına kesintisiz, düşük gecikmeli ve yüksek kaliteyle gönderildiği belirtilmiştir.[284]

[282] "Türk Telekom Türkiye'nin ilk gerçek 5G canlı maç yayınını 360 derece kamera açısı deneyimiyle gerçekleştirdi".
[283] "Turkcell'in 5G altyapısı ilk kez Trabzonspor stadında", https://www.aa.com.tr/tr/sirkethaberleri/bilisim/turkcellin-5g-altyapisi-ilk-kez-trabzonspor-stadinda/654018 (04.04.2021)
[284] "Turkcell'den Türkiye'nin İlk 5G Canlı Yayını", https://medya.turkcell.com.tr/bulletins/turkcellden-turkiyenin-ilk-5g-canli-yayini/ (04.04.2021)

Yapılan test yayını ile ilgili olarak Turkcell Şebeke Teknolojilerinden Sorumlu Genel Müdür Yardımcısı Gediz Sezgin, yaptığı açıklamada şu ifadeleri kullanmıştır:[285]

> *"5G'nin hayatımıza girmesiyle birlikte sadece endüstri ve üretim biçimlerinde değil her alanda değişikler olacak. Bunların başında ise televizyon yayıncılığı geliyor. 5G teknolojisinin getirdiği yüksek kapasiteli ve düşük gecikmeli veri iletim imkanı yayıncılık sektöründe farklı dünyaların ve deneyimlerin kapısını açacak. Bu sayede izleyiciler daha önce hiç karşılaşmadıkları yeniliklerle karşılaşacak. Bu canlı yayında da gördüğümüz gibi mevcut teknolojilerde birden fazla ekipman üzerinden sunulabilen hızlar 5G teknolojisi sayesinde tek bir el terminali ile sağlanabiliyor. Gigabit seviyesindeki veri gönderme hızları sayesinde 4K/8K gibi yüksek çözünürlüklü kaliteli kamera çekimleri, lokasyondan bağımsız olarak tek kameraman tarafından kolaylıkla yapılabiliyor ve evlerimizdeki televizyonlardan çok düşük gecikmeli olarak izlenebiliyor. Televizyon yayıncılığında olduğu gibi Turkcell'in güçlü altyapısıyla desteklenen 5G sayesinde sunacağımız yeni teknolojilerle hayatın her alanına dokunmaya devam edeceğiz."*

[285] "Turkcell'den Türkiye'nin İlk 5G Canlı Yayını".

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

İnsanlığın var oluşundan günümüze kadar geçen süreçte; sahip olunan herhangi bir bilginin, başka kişi veya kişilerle paylaşılmak istenmesi haberleşmeyi en önemli ihtiyaçlardan biri haline getirmiştir. İlk zamanlarda ilkel yöntemlerle başlayan bu gereksinim zamanla gelişmiş, ardından kablolu haberleşmenin bulunması ile büyük bir değişikliğe uğramıştır. Sonraki süreçlerde haberleşmenin radyo dalgaları üzerinden gerçekleştirilebileceği keşfedilmiş ve kablosuz iletişimin ön plana çıktığı bir dönem başlamıştır. Kablosuz iletişim sayesinde bilginin çıkış noktasından (kaynak) herhangi bir fiziksel vasıta olmaksızın varış noktasına (hedef) ulaşması mümkün kılınmıştır. Haberleşme sistemlerindeki bu yenilikler kapsamında, hareket esnasında bilgi alımı ve gönderimine izin veren mobil cihazlar üretilmiş ve kısaca 1G olarak adlandırılan birinci nesil mobil sistemler dönemi başlamıştır.

Temelinde ses iletimini hedefleyen ve analog sistem yapısıyla dizayn edilen 1G, veri transfer hızı ile bant genişliğinin düşük ve gecikme süresinin yüksek seviyelerde olduğu mobil haberleşme sistemidir. 1G'de analog modülasyon tekniğinin kullanılması ve şifresiz bir güvenlik yapısının olması, teknoloji tasarımcılarını dijital sistemlere doğru yönlendirmiştir. Gelişmiş iletim teknolojilerinin kullanıldığı 2G'de dijital modülasyon teknikleri kullanılmıştır. 2G'nin dijital şifreleme temelinde bir güvenlik yapısının olması ve kısa mesaj (SMS) gönderme olanağı sunması, 1G'ye kıyasla sahip olduğu avantajlar arasında yer alır. Bundan sonraki süreçte giderek ilerleme gösteren mobil haberleşme sektöründe, birtakım yeni özellikleriyle 3G kullanıma sunulmuştur. Önceki mobil ağlara göre 3G'ye; gelişmiş video ve ses akışı, daha hızlı veri transferi, web'te gezinme, video konferans ve internet üzerinden televizyon (IPTV) gibi özellikler eklenmiştir. Özellikle video aktarımının mobil şebekeler üzerinden gerçekleşmesi ve buna uygun mobil cihazların üretiminin artmasıyla mobil haberleşme sektörü kullanıcılar nezdinde yeni bir boyut kazanmıştır.

Mobil haberleşme sistemlerinin bir sonraki evresi olan 4G sistemlerinin kullanılmaya başlanması ile etkileşimli internet dönemi başlamıştır. 2010'lu yıllarda tanıtılan 4G teknolojisinde birtakım yükseltmeler yapılarak LTE standardı geliştirilmiştir. Spektral verimliliğin artırıldığı, gelişmiş çoklu anten sistemleri ile gelişmiş erişim tekniklerinin kullanıldığı LTE-A standardında ağ tıkanıklığı problemi de minimize edilmiş, kapasite ve veri hızı artırılırken gecikme süresi de makul seviyelere düşürülmüştür. Bu gelişmeler ışığında kullanıcılar, mobil cihazlar vasıtasıyla geniş bir yelpazede birçok mobil hizmete erişim imkanı bulmuştur. Bunların arasında: yüksek kaliteli video akışı, hızlı mobil web erişimi, e-ticaret, etkileşimli medya ve çevrimiçi oyun gibi hizmetler yer almaktadır. Ayrıca bu dönemde artırılmış gerçeklik (AR), sanal gerçeklik (VR) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi yeni teknolojik kavramlar da ortaya çıkmaya başlamıştır.

Bu döneme kadar geçen süre zarfında yayıncılık sektöründe de teknolojik anlamda birçok yeniliklere şahit olunmuştur. İlk televizyonun icadıyla başlayan bu teknoloji serüveni tüplü televizyonların kullanılmasıyla devam etmiş, ardından LCD ekran televizyonlar, akıllı TV'ler (Smart TV) ve bağlantı özellikli TV'ler (Connected TV) kullanıcılara sunulmuştur. Bu süreçte yayıncılık faaliyetleri genel olarak karasal ortam ile uydu ve kablo ortamlarından gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı bu ortamlardan yapılan yayınlar, geleneksel yayıncılık faaliyetleri olarak da bilinmektedir. Bununla birlikte söz konusu gelişmeler çerçevesinde yayın kalitesi de artırılmış, HD, 4K ve 8K gibi çözünürlüklere sahip yayınlar iletilmeye başlamıştır.

LTE-A standardındaki gelişmelerden özellikle uçtan uca internet protokolü üzerinden yüksek video akışının sağlanması, geleneksel yayın faaliyetleriyle kullanıcılara aktarılan video içerikli hizmetlerin sunum şeklini etkilemiştir. IPTV, Internet TV ve şebekeler üstü servisler olarak adlandırılan OTT hizmetlerinin ortaya çıkmasıyla hem yayın faaliyetleri hem de buna bağlı olarak izleyici alışkanlıkları değişmeye başlamıştır. Önceden yalnızca ev, iş yeri veya farklı bir mekanda izlenen

televizyon içeriklerine, geniş bant hizmetlerinin devreye girmesiyle mobil telefon, tablet ve kişisel bilgisayarlar üzerinden erişim olanağı gelmiştir. Kullanıcıların hareket halinde olup olmadıklarına bakılmaksızın, istenilen yerde ve istenilen zamanda video içeriklerine erişim imkanı, izleyici kitlenin dikkatini çekmiştir. Bu doğrultuda mobil cihaz kullanımına yönelik artan talepler ile beraber mobil veri tüketimindeki artışlar, medya şirketlerinin mobil geniş bant hizmetlerine odaklanmasını sağlamış ve içeriklerin geniş bant üzerinden sunum süreci hız kazanmıştır. Bu süreçte yoğun bir ilgiyle karşılanan OTT video hizmetleri, kullanım şekline göre kısımlara ayrılmıştır. Bunlar; kullanıcıların herhangi bir ödeme yapmasına gerek duyulmayan reklam tabanlı video hizmetleri (YouTube, Puhu TV, Dailymotion), kullanıcıların seç-öde-izle mantığıyla erişim sağladıkları video hizmetleri (Apple iTunes, Google Play) ve abonelik tabanlı video hizmetleridir (Netflix, Blu TV, Amazon Prime Video).

Yıkarıda bahsi geçen OTT video servislerinden özellikle abonelik tabanlı video hizmetleri (SVoD); sunulan geniş kapsamlı içerik kütüphanesi ve bu içeriklerin orijinal olması, içeriklere istenilen zamanda ve reklamsız olarak erişim imkanı gibi nedenlerden dolayı ön plana çıkmıştır. Bu kapsamda küresel boyutta birçok SVoD platformları kurulmuş ve bu platformların abone sayıları gün geçtikçe artmaya başlamıştır. Dünya çapında; Netflix, Amazon Prime Video, Hulu, HBO, Disney+, Türkiye'de ise Blu TV, Gain ve son dönemde sektöre dahil olan Exxen SVoD hizmeti sunan platformlara örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmanın üçüncü bölümünde detaylı bir şekilde ifade edildiği üzere hem Türkiye'de hem de küresel ölçekte geniş bant ve mobil geniş bant üzerinden yapılan yayın faaliyetleri artan bir ivmeyle büyümeye devam etmektedir. Bu büyüme kapsamında Türkiye'ye yönelik internet üzerinden yapılan yayınlara ilişkin olarak, 21.03.2018 tarihli ve 7103 sayılı "Vergi Kanunları ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun" un 82. maddesi çerçevesinde Radyo ve Televizyon Üst Kuruluna (RTÜK), internet ortamından

yapılan yayın hizmetlerini düzenleme ve denetleme yetkisi verilmiştir.[286] Bu doğrultuda, 6112 sayılı 'Radyo ve Televizyonların Kuruluş ve Yayın Hizmetleri Hakkında Kanun'a "Yayın Hizmetlerinin İnternet Ortamından Sunumu" kenar başlıklı 29/A maddesi eklenmiştir. Bu yasal düzenleme sonrası RTÜK ve BTK tarafından müştereken hazırlanan "Radyo, Televizyon ve İsteğe Bağlı Yayınların İnternet Ortamından Sunumu Hakkında Yönetmelik", 01.08.2019 tarihli ve 30849 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.[287] Ardından yaşanan gelişmelerde, global ölçekte SVoD hizmeti sunan Netflix ve Amazon Prime Video ile yerli SVoD servisleri olarak nitelendirilen Blu TV, Exxen ve Gain'in de aralarında bulunduğu birçok kuruluş RTÜK'e lisans başvurusunda bulunmuştur. Söz konusu kuruluşlar, ilgili Kanun ve Yönetmelik'te yer alan şartları yerine getirerek internet ortamından yayın faaliyetlerini sürdürebilmeleri adına gereken yayın lisanslarını RTÜK'ten almışlardır.

Mobil şebekeler üzerinden yapılan yayın faaliyetleri, mobil geniş bant teknolojilerindeki gelişmelerin temelinde ve özellikle 4G'nin gelişmiş standardı olan LTE-A'nın dünya çapında kullanımı ile yaygınlaşmaya başlamıştır. Önceki mobil ağlara (3G, 4G, LTE) kıyasla hız, kapasite ve gecikme süresi gibi noktalarda LTE-A'nın daha gelişmiş özellikleri, bu yayın faaliyetlerine zemin hazırlamıştır. Bu noktada 5G ağlarında; hüzmeleme (beamforming) teknolojisiyle birleştirilmiş geniş ölçekli çoklu anten (kapsamlı MIMO) sistemleri, gelişmiş bulut bilişim yapısı, ağ dilimleme teknolojisi, milimetrik dalga ve küçük hücre uygulamaları gibi yeni teknolojik yapıların kullanılmasıyla,

- Kullanıcı deneyim hızının ortalama 100 Mbit/sn – 1 Gbit/sn, maksimum veri hızının ise 20 Gbit/sn'ye ulaşacağı,
- 1 GHz'ye kadar bant genişliği imkanı sunacağı,
- Gecikme sürelerinin 1 ms'ye kadar azaltılacağı,

[286] https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.7103.pdf, (06.04.2021)
[287] "Radyo, Televizyon ve İsteğe Bağlı Yayınların İnternet Ortamından Sunumu Hakkında Yönetmelik Yürürlüğe Girdi", https://www.rtuk.gov.tr/duyurular/3788/7030/radyo-televizyon-ve-istege-bagli-yayinlarin-internet-ortamindan-sunumu-hakkinda-yonetmelik-yururluge-girdi.html (06.04.2021)

- Şebekeye bağlı cihaz sayısının km^2 başına 1 milyon adete ulaşacağı,
- 500 km/saat mobilitede (hareketlilik) bağlantıya olanak vereceği,
- Spektral verimliliğin ve kapsama alanının artırılacağı,
- Güvenli ve esnek bir ağ mimarisinin sağlanacağı,

yapılan değerlendirmeler arasında yer almaktadır. 5G'nin bu gelişmiş özelliklerinin mobil cihaz ve mobil veri kullanımında artışlara sebep olacağı da öngörülmektedir.

Ericsson'un Kasım 2020 verilerine göre, 2026 yılına kadar 6 milyardan fazla insanın akıllı telefon, tablet veya dizüstü bilgisayar kullanacağı ve bu şekilde global mobil veri trafiğinin aylık ortalama 226 eksabayt değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Mobil veri trafiğindeki bu büyümenin; iyileştirilmiş cihaz özellikleri, yoğun içerik tüketiminden kaynaklı mobil veri kullanımındaki artışlar ve sonraki nesil ağ teknolojilerine (5G) kullanıcıların rağbet göstermesinden dolayı veri kullanımının artmasından kaynaklanacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca 5G'nin, 2026 yılına kadar artacak toplam mobil veri trafiğinin yaklaşık %54'ünü temsil edeceği ve 3.5 milyar aboneye ulaşacağı da yapılan tahminler arasındadır.[288]

Bu gelişme ve öngörüler ışığında, 5G teknolojisinin üretimden sağlığa, ulaşımdan medyaya kadar birçok sektörü etkisi altına alacağı düşünülmektedir. 5G'nin yüksek hız, düşük gecikme, geniş kapasite ve kapsama alanı gibi gelişmiş özelliklerinin, özellikle medya ve yayıncılık alanında; artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklikle bütünleştirilmiş 4K ve 8K kalitesindeki içeriklerin kullanıcılara sunulması sürecinde birçok avantaj sağlayacağı ve bu alandaki gelişmelere ışık tutacağı öngörülmektedir.

[288] "Mobile Data Traffic Outlook", https://www.ericsson.com/en/mobility-report/dataforecasts/mobile-traffic-forecast (07.04.2021)

Diğer yandan, geleneksel yayın faaliyetleri ve içeriklerin mobil şebekeler vasıtasıyla kullanıcılara sunulmasının yanı sıra, 4G ve 5G sistemlerinden yararlanılarak yayınların aktarılması amacıyla 3GPP tarafından birtakım standartlar geliştirilmiştir. Bilindiği üzere mobil operatörler ile kullanıcılar arasında mobil şebekeler üzerinden gerçekleştirilen bağlantı, tek noktaya yayın (unicast) özelliği taşımaktadır. 4G için geliştirilen eMBMS ve 5G için geliştirilen FeMBMS teknolojilerinde ise çok noktaya yayın (multicast) özelliği bulunmaktadır. Kısaca ifade etmek gerekirse eMBMS ve FeMBMS standartları kullanılarak yapılan yayınlarda, içeriklerin kullanıcılara ayrı ayrı gönderilmesi yerine tek bir seferde gönderilmesi yeterli olmaktadır. Ayrıca, bu standartlarla iletilen herhangi bir içeriğin alınması için internet bağlantısına ihtiyaç olmamaktadır. Bu şekilde hem ağ kapasitesi verimli kullanılmış, hem de kullanıcılar ücret ödemeksizin içerikle erişim imkanı bulmuş olacaklardır. Bununla birlikte, bu standartlar ile yapılacak olan yayınların LTE-A ve 5G şebekeleri üzerinden gerçekleştirileceği ele alındığında, yoğun bir fiber altyapı sisteminin kurulması gerekmektedir. Sonuç olarak, eMBMS ve FeMBS yayın standartlarının, LTE-A ve 5G teknolojilerinin gelişimine ve yayılımına bağlı olarak önem kazanacağı düşünülmektedir.

Bunların yanı sıra yayın teknolojileri çerçevesinde değerlendirildiğinde karasal ortamdan dijital yayıncılık standartlarının güncel versiyonu olan DVB-T2 teknolojisine de değinmek yerinde olacaktır. Başta Avrupa olmak üzere dünyanın birçok ülkesinde dijital yayıncılık standardı olarak kullanılan bu teknoloji Dijital Video Yayını (DVB) projesi kapsamında geliştirilmiştir. ITU tarafından belirlendiği üzere frekans spektrumu noktasında 470-960 MHz bant aralığı karasal televizyon yayınları için ayrılmıştır. ITU öncelikli olarak bu frekans aralığındaki 800 MHz bandını IMT hizmetlerine tahsis etmiştir. Sonrasında ise ITU tarafından 2015 yılında düzenlenen Dünya Radyokomünikasyon Toplantısı (WRC-15) sonucunda yapılan nihai anlaşmaya göre ülkemizin de içinde bulunduğu Bölge-1'de (Region-1) 694-790 MHz bandının IMT servislerine birincil öncelikli olarak tahsis edilmesine karar verilmiş, 470-694 MHz bandının ise karasal yayıncılık servislerinde kullanılmaya devam edilmesi kararlaştırılmıştır.

2019 yılında gerçekleştirilen WRC toplantısında ise ülkemizde hâlihazırda karasal analog televizyon yayıncılığı için kullanılmakla birlikte karasal dijital televizyon yayıncılığında kullanılacak olan 470-694 MHz frekans bandının da içinde bulunduğu 470-960 MHz frekans bandı ile ilgili olası düzenleyici işlemlerin çalışılması ve bu frekans bandına ilişkin nihai karar alınmak üzere konunun WRC-23 toplantısında görüşülmesine karar verilmiştir. Bu noktada WRC-23'te alınması muhtemel kararlar ile beraber 600 MHz ve 700 MHz frekans bantlarının 4G'den 5G'ye geçiş aşamasında çoğunlukla kullanılması uygun görülen aday frekans aralıkları olarak tanımlandığı ele alındığında, mevcut frekans spektrumunda birtakım değişikliklerin meydana gelebileceği düşünülmektedir.

Bu çerçevede, her ne kadar DVB-T2 teknolojisi günümüzde dünyanın birçok ülkesinde karasal dijital yayıncılık standardı olarak kullanılıyor olsa da, ITU kararları kapsamında bu yayıncılık teknolojisine ayrılan frekans bandı daraltılmış ve bu frekans bandı mobil servislere tahsis edilmiştir. Buna karşın 5G mobil teknolojisi frekans spektrumunda çok geniş bir bant aralığına sahip olacaktır. Düşük, orta ve yüksek frekans bantları olmak üzere üç farklı spektrum alanındaki bölümlerin 5G'ye tahsis edilmesi planlanmaktadır. Üçüncü Bölüm'de detaylarıyla anlatıldığı üzere, gelişen teknoloji, mobilite ve kullanılmakta olan mobil cihaz sayısı ile mobil verinin artmasıyla giderek yaygınlaşacağı düşünülen 5G sistemleri sahip olduğu yüksek hız, düşük gecikme süresi ve artırılmış bant genişliği gibi özellikleriyle yayıncılık teknolojilerinde önemli bir yere sahip olacaktır.

Ek olarak yukarıda bahsedildiği gibi yayıncılık teknolojilerindeki gelişmeler doğrultusunda video içeriklerinin görüntü kalitesi artırılmış, bu sayede HD, 4K ve 8K gibi standartlar ortaya çıkmıştır. Görüntü kalitesinin artmasına bağlı olarak DVB-T2 teknolojisinde çeşitli video sıkıştırma ve iletim teknikleri kullanılmaktadır. Bu şekilde DVB-T2 teknolojisinin geliştirilmesi sağlanırken yayın teknolojilerindeki mevcut önemi de korunmaktadır. Öte yandan interaktif özellikleri ve sahip olduğu birtakım avantajlar ile kullanıcılara sunduğu çeşitli imkanlardan dolayı mobil

haberleşme teknolojilerinin özellikle LTE ve 5G bazında yükselen grafiği 5G'yi yayıncılığın geleceği olma noktasında bir adım öne geçirmektedir.

Ayrıca, son dönemlerde koronavirüs (COVID-19) salgını ile 5G teknolojisinin ilişkilendirildiği ve söz konusu salgına 5G'nin yayılımı ile ilgili çalışmaların sebep olduğuna dair söylentilerin gündemde yer aldığı görülmektedir. Konuya ilişkin olarak Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization - WHO) tarafından yapılan açıklamada; virüslerin radyo dalgaları veya mobil ağlar üzerinden yayılamayacağı belirtilmiştir. Ayrıca COVID-19'un 5G mobil ağlarının henüz bulunmadığı birçok ülkede yayılmaya devam ettiği ve bu virüsün yalnızca enfekte olan bir kişinin öksürmesi, hapşırması veya konuşması durumunda solunum damlacıkları yoluyla bulaştığına vurgu yapılmıştır.[289] Bununla birlikte ITU tarafından yapılan açıklamada, COVID-19'un ortaya çıkması ve yayılmasında 5G'nin doğrudan veya dolaylı bir etkisinin olduğuna dair bilimsel bir verinin bulunmadığının altı çizilmiştir.[290]

Öneriler

Bu tez çalışmasında yapılan değerlendirmeler ile elde edilen veri ve istatistikler ışığında verilebilecek tavsiyeler şunlardır:

- Mobil haberleşme sistemlerindeki gelişmeler yakından takip edilmeli ve 5G'nin Türkiye'deki endüstriler üzerinde nasıl bir etkisi olacağı araştırılmalıdır.

[289]" FACT: 5G Mobile Networks DO NOT Spread COVID-19", https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters#5g (08.04.2021)
[290] "ITU: No Scientific Basis Between 5G and COVID-19", https://www.itu.int/en/Pages/COVID-19/5g-covid-19-statement.aspx (08.04.2021)

- Medya tüketicilerinin özellikle 5G konusunda beklentileri kapsamlı bir şekilde araştırılmalı ve elde edilen sonuçlar tüm detaylarıyla medya hizmet sağlayıcı kuruluşlar ile paylaşılmalıdır.

- Artan mobil veri trafiği ve buna bağlı olarak ortaya çıkan yeni içerik hizmetleri (OTT, SVoD vb.) çerçevesinde dijitalleşmeye doğru evrilen yayıncılık faaliyetlerini analiz etmek ve sektöre yön verebilmek amacıyla izleyici alışkanlıkları araştırılmalıdır.

- Mobil yayıncılığın Türkiye'de kullanılabilirliği noktasında medya hizmet sağlayıcı kuruluşlar ile BTK eş güdümünde bir araya gelinmeli, yayın kuruluşlarının mobil yayıncılığa yönelik fikirleri alınmalı ve hususi olarak 5G'den beklentiler saptanmalıdır.

- Özellikle frekans spekturumunun verimli kullanılmasını öngören ve 5G sistemlerinin hayata geçmesiyle önem kazanacağı düşünülen FeMBMS yayın teknolojisinin RTÜK – BTK iş birliğinde ele alınması gerekmektedir.

- 5G teknolojisinin Türkiye'de kullanılmaya başlamasıyla, FeMBMS standardının yaygınlaşabilmesi adına kamu yayıncısı olarak hizmet veren TRT'nin iş birliğinde test denemeleri yapılabilir ve bu denemelerin sonuçları çerçevesinde söz konusu standardın ülkeye tanıtımı yapılabilir.

- Gerek yurt içinde gerekse yurt dışında haberleşme teknolojilerinde yaşanmakta olan gelişmeler ile ilgili düzenlenen ulusal ve uluslararası toplantılara katılım sağlanmalıdır. Öncelikle, BTK tarafından 2016 yılında kurulan ve 5G'deki gelişmeleri ele almak üzere Ar-Ge firmaları, mobil operatörler ve akademisyenlerin bir araya getirildiği Türkiye 5G Forumu'na RTÜK'ün iştiraki sağlanmalıdır.

- FeMBMS yayın teknolojisinin uygulanmasının 5G sistemlerinin yaygınlaşmasına bağlı olduğu düşünüldüğünde, fiber altyapıya önem verilmeli ve fiber ağının genişletilmesi gerekmektedir.

- 5G teknolojisi üzerinden yapılan yayıncılığın gelişimini yakından takip etmek amacıyla geleneksel yayıncılık (uydu, kablo veya karasal ortam) ile beraber izleme eğilimlerinin araştırılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Aepd (2020), *Introduction to 5G Technologies And Theır Risks In Terms Of Privacy*, Spanish Data Protection Agency, White Paper, https://www.aepd.es/sites/default/files/2020-06/nota-tecnica-privacidad-5G-en.pdf

Alsharif, M. H. ve Nordin, R. (2016), Evolution towards fifth generation (5G) wireless Networks, *Springer Science+Business Media*. DOI:10.1007/s11235-016-0195-x

Arthur D. Little (2020), *Broadcasters' 5G Evolvement within a Hybrid Environment,* White Paper. (2020).

Attaran, Mohsen (2019), *5G Wireless: A Transformative, Disruptive Technology*, Industrial Management (Norcross, Georgia).

BEREC (2016), *Report on OTT Services*, BoR, (16) 35.

BEREC (2018), *Study on Implications of 5G Deployment on Future Business Models*, Study Report.

BTK (2020), *Sabit Şebekede Çağrı Sonlandırma Pazarı,*. Pazar Analizi Çalışmaları.

CCRI Community College of Rhode Island (2020), *Analog versus digital comparison chart*, https://www.ccri.edu/faculty_staff/engt/jbernardini/JB-Website/ENGR1020/1020-016-Fall/10-Analog-Digital-Compare.pdf

China Academy of Information and Communications Technology (CAICT) (2020), *5G Security Report*, IMT-2020(5G) Promotion Group, Technical Report.

Christie, Lorna (2019), *5G Technology. UK Parliament Post*, https://post.parliament.uk/research-briefings/post-pb-0032/ (09.03.2021)

Cisco (2020), *Cisco Annual Internet Report*, White Paper.

Demirkıran, Cenk (2010), *Geleneksel Televizyonun Sanal Modeli Olarak Web TV ve Livestream Portalında TV Yönetimi*, Maltepe Üniversitesi.

Department for Digital, Culture, Media & Sport (2018), *5G Network Architecture and Security*, DCMS Phase 1 5G Testbeds & Trials Programme, Collaborative paper.

GAO (2020), *Science & Tech Spotlight: 5G Wireless*, Science, Technology Assessment and Analytics. GAO-20-421S. https://www.gao.gov/assets/gao-20-421sp.pdf (12.03.2021)

GSMA (2020), *Network 2020: The 4G Broadcasting Opportunity,* White Paper.

http://ckk.com.tr/ders/Haberlesme/01%20Haberle%C5%9Fme%20Temel%20Kavramlar.html

https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Europe/Documents/Events/2020/5G_EUR_CIS/5G_Turkey-final.pdf

IBC (2017), *Market Study Report On IPTV/ VOD/ OTT Industry,* IBC Consultants. Study Report.

ITU (2020), "5G Country Profile Turkey", *ITU Regional Forum,*
ITU (2020), "5G Country Profile United Kingdom". *ITU Regional Forum,* https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Europe/Documents/Events/2020/5G_EUR_CIS/5G_UnitedKingdom-final.pdf

Karakuş, Cahit (2020), *Veri haberleşmesi ve bilgisayar ağları: "Haberleşmenin temel kavramları*
Kızılkaya, Aydın (2008). *Haberleşme Teorisi*. Pamukkale Üniversitesi, http://akizilkaya.pamukkale.edu.tr/B%C3%B6l%C3%BCm1_haberlesme.pdf

Kornfeld, M. ve Reimers, U. (2005) *"DVB-H - the Emerging Standard for Mobile Data Communication"* https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_301-dvb-h.pdf (12.08.2021)

KPMG (2020), *Türkiye'de Dijital Yayın Platformları ve Pandeminin Etkileri, KPMG Türkiye*.

Li, Tongtong, *Introduction to Wireless Communications and Networks* , Michigan State University, https://www.egr.msu.edu/~tongli/Introduction-WCN.pdf

LTE Broadcast Alliance (2016), *LTE Broadcast – Lessons Learned from Trials and Early Deployments,* White Paper.

MAKÜ. (2020). *Dijital elektronik ders notları*
https://abs.mehmetakif.edu.tr/upload/0124_1408_dosya.pdf

Mitra, A. (2006), Mobile Communication: The Basic Concepts, *Breakthrough.* 3(11)

OECD (2019), "The Road to 5G Networks". *OECD Digital Economy Papers.* 284.

Olfad, M (2009), *New Directions in Wireless Communications Research*, *Ultra Mobile Broadband.* Boston: Springer.

PricewaterhouseCoopers (Pwc Global) (2020), *How the New Wireless Standard Can Accelerate Automation,* 5G in Manufacturing, https://www.pwc.com/gx/en/tmt/5g/pwc-5G-in-manufacturing.pdf (22.03.2021)

Qualcomm Technologies (2018), *VR and AR Pushing Connectivity Limits,* https://www.qualcomm.com/media/documents/files/vr-and-ar-pushing-connectivity-limits.pdf (25.03.2021)

Renaldo, Pierre ve Vaquero, Guillaume (2019), "5G: A New Generation Of Technology, but Where Will the Innovation Come From?", *Wavestone*. https://www.wavestone.com/app/uploads/2016/06/5G-New-Generation-Technology.pdf (08.03.2021)

Roessler, A. Ve Kottkamp, M. (2013), *LTE- Advanced (3GPP Rel.11) Technology Introduction,* White Paper.

Samsung Newsroom South Africa (2021), *Samsung Shares Massive MIMO Roadmap in New Whitepaper*, https://news.samsung.com/za/samsung-shares-massive-mimo-roadmap-in-new-whitepaper (03.03.2021)

Schiller, John (2003), *Mobile Communications,* Pearson Edinburgh, Education Limited.

Taşkın, Cebrail (2018), *Ağ teknolojileri ve telekomünikasyon,* İstanbul: Pusula, 2018.

Thompson, Richard Tipper, David Krishnamurthy, Prashant ve Kabara, Joseph (2006), "The Physical Layer of Communication Systems" *University of Pittsburgh.*

Tipper, David, *Digital modulation,* http://www.pitt.edu/~dtipper/DM.pdf (10.12.2020)

UMN University of Minnesota, Business Communication for Success". Erişim 17 Kasım, 2020. https://open.lib.umn.edu/businesscommunication/chapter/1-2-what-is-communication/

Viavi (2015), *LTE Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services (eMBMS)*. White Paper.

Viavi (2021), *The State of 5G*, Courtesy of Viavi Solutions.

Virginia Polytechnic Institute and State University, *Overview of mobile communication systems,* https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/27291/ch2.pdf (07.12.2020)

West, Darrell M. (2016), *How 5G Technology Enables the Health Internet of Things*, Center for Technology Innovation at Brookings, https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/07/how-5g-tech-enables-health-iot-west.pdf (14.03.2021)

ZTE Corporation (2019), *5G Cloud XR Application*, White Paper. https://www.mobile360series.com/wp-content/uploads/2019/09/zte-white-paper.pdf (25.03.2021)

ELEKTRONİK KAYNAKLAR

Anadolu Ajansı (2019), "Turkcell'in 5G altyapısı ilk kez Trabzonspor stadında", https://www.aa.com.tr/tr/sirkethaberleri/bilisim/turkcellin-5g-altyapisi-ilk-kez-trabzonspor-stadinda/654018 (04.04.2021)

AT&T Business Editorial Team (2020), "How 5G will Impact the Transportation Industry", https://www.business.att.com/learn/tech-advice/how-5g-will-impact-the-transportation-industry.html# (21.03.2021)

BeyazNet (2019), "MIMO Nedir?", https://www.beyaz.net/tr/network/makaleler/mimo_nedir.html (31.01.2021)

BusinessofApps (2021), "Video Streaming App Revenue and Usage Statistics (2021)",https://www.businessofapps.com/data/video-streaming-app-market/#TopVideoStreamingApps (01.04.2021)

China.org.cn (2019), "5G Remote Surgery Performed in China", http://www.china.org.cn/china/2019-01/20/content_74391295.htm (14.03.2021)

CollegeGrad (2020), "Broadcasting Industry", https://collegegrad.com/industries/broadcasting (26.03.2021)

Deloitte (2020), "Digital Media Trends Survey, 14th Edition", https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/digital-media-trends-consumption-habits-survey/summary.html (29.03.2021)

Ericsson (2020), "Mobile Data Traffic Outlook", https://www.ericsson.com/en/mobility-report/dataforecasts/mobile-traffic-forecast (07.04.2021)

ETSI (2021), "Multi-access Edge Computing (MEC)", https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing (04.03.2021)

European 5G Observatory (2020), "What is 5G?",

https://5gobservatory.eu/about/what-is-5g/ (03.03.2021)

European Commission (2021), "Satellite Broadband", https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/satellite-broadband (26.03.2021)

FCC (2014), "Types of Broadband Connections", https://www.fcc.gov/general/types-broadband-connections (26.03.2021)

Harvard Business Review (2017), "Why Every Organization Needs an Augmented Reality Strategy", https://hbr.org/2017/11/why-every-organization-needs-an-augmented-reality-strategy (25.03.2021)

HONOR (2019), "5G Teknolojisi Nedir? Neler Getiriyor?", https://community.hihonor.com/tr/topicdetail/5G-Teknolojisi-Nedir-Neler-Getiriyor/topicId-17306/ (25.02.2021)

HP (2020), "6 Ways Virtual Reality is Changing the World", https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/6-ways-vr-is-changing-the-world (22.03.2021)

IBM (2019), "What Consumers Expect from 5G Entertainment", https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/immersive-5g-entertainment (13.03.2021)

Incorporating Radio-Electronics.com (2021), "5G NR New Radio", https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/5g-nr-new-radio.php (10.03.2021)

Indiana University (2018), "Archived: What is a Cable Modem?", https://kb.iu.edu/d/ahwe (26.03.2021)

Intel (2020), "Why 5G and IOT?", https://www.intel.com.tr/content/www/tr/tr/wireless-network/5g-iot.html (24.03.2021)

Intrado GlobeNewswire (2021), "Global SVOD (Subscription Video On Demand) Vendor Forecasts Report 2020-2025", https://www.globenewswire.com/fr/news-release/2021/02/01/2167036/28124/en/Global-SVOD-Subscription-Video-On-Demand-Vendor-Forecasts-Report-2020-2025-1-161-Million-SVOD-Subscriptions-by-2025-up-from-642-Million-at-end-2019.html (31.03.2021)

ITU (2021), "No Scientific Basis Between 5G and COVID-19", https://www.itu.int/en/Pages/COVID-19/5g-covid-19-statement.aspx (08.04.2021)

Juniper Networks (2021), “What is Multi-access Edge Computing?”, https://www.juniper.net/us/en/products-services/what-is/multi-access-edge-computing/ (04.03.2021)

Lenovo (2020), “What is Mobile Broadband Technology?”, https://www.lenovo.com/us/en/faqs/pc-life-faqs/what-is-mobile-broadband/ (26.03.2021)

Linkedin (2016), “DVB-T2 Lite | First Deployments, First Experiences | Next Generation of Digital Radio & Mobile TV”, https://www.linkedin.com/pulse/dvb-t2-lite-first-deployments-experiences-next-digital-kenneth-wenzel (15.08.2021)

Marketingcharts (2020), “Nearly 8 in 10 US Households Now Use SVOD Services”, https://www.marketingcharts.com/digital/video-114967 (31.03.2021)

Martin Courtney (2020), “Who’s got 5G? A Progress Report”, https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/whos-got-5g-progress-report/ (30.03.2021)

Nevron (2021), “What is Internet Protocol Television IPTV?”, https://www.nevron.eu/blog/iptv/ (28.03.2021)

Nokia (2020), “Network Slicing explained”, https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/network-slicing-explained/ (04.03.2021)

Oculus (2021), “Bilgisayar Destekli VR Oyunları”, https://www.oculus.com/rift-s/ (23.03.2021)

Oracle (2021), “What is IoT?”, https://www.oracle.com/tr/internet-of-things/what-is-iot/ (24.03.2021)

ORS (2021), “5G Broadcast New Technology Makes Linear Television Mobile”, https://www.ors.at/en/5g-broadcast/the-underlying-technology/ (02.04.2021)

Qorvo (2019), “Tips and Trends: Small Cell 5G Systems”, https://www.qorvo.com/design-hub/blog/tips-and-trends-small-cell-5g-systems (10.03.2021)

Qualcomm (2020), “Everything you need to know about 5G.”, https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g (26.02.2021)

Qualcomm. “How 5G massive MIMO transforms your mobile experiences” https://www.qualcomm.com/news/onq/2019/06/20/how-5g-massive-mimo-transforms-your-mobile-experiences (03.03.2021)

RaiCRITS (2014), “DVB-T2 lite in Aosta Valley”,

http://www.crit.rai.it/CritPortal/progetti/?p=521&lang=en (15.08.2021)

ReportLinker (2020), "Video on Demand Market - Growth, Trends, and Forecasts (2020 - 2025)", https://www.reportlinker.com/p05974097/Video-on-Demand-Market-Growth-Trends-and-Forecasts.html?utm_source=GNW (29.03.2021)

Researchgate (2019), OFDM and OFDMA, https://www.researchgate.net/figure/Uplink-Access-in-OFDM-and-OFDMA_fig1_267719060 (25.02.2021)

Rohde&Schwarz (2018), "GSM / EGPRS / EDGE Evolution / VAMOS Technology" https://www.rohde-schwarz.com/us/technologies/cellular/gsm-egprs-edge-evolution-vamos/gsm-egprs-edge-evolution-vamos/gsm-egprs-edge-evolution-vamos_55921.html (04.01.2021)

RTÜK (2019), "Radyo, Televizyon ve İsteğe Bağlı Yayınların İnternet Ortamından Sunumu Hakkında Yönetmelik Yürürlüğe Girdi", https://www.rtuk.gov.tr/duyurular/3788/7030/radyo-televizyon-ve-istege-bagli-yayinlarin-internet-ortamindan-sunumu-hakkinda-yonetmelik-yururluge-girdi.html (06.04.2021)

Semiconductor Engineering (2019), "Should We Even Be Talking About 6G?", https://semiengineering.com/should-we-even-be-talking-about-6g/ (10.03.2021)

Statista (2021), "Global Digital Population as of January 2021", https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/ (28.03.2021)

Statista (2020), "Number of Internet of Things (IoT) Connected Devices Worldwide From 2019 to 2030", https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/ (24.03.2021)

Statista (2021), "Number of OTT video users worldwide from 2017 to 2025", https://www.statista.com/forecasts/1207843/ott-video-users-worldwide (29.03.2021)

Study.com (2017), "Internet Television: Definition & Impact", https://study.com/academy/lesson/internet-television-definition-impact.html (28.03.2021)

T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi (2018), "Vergi Kanunları İle Bazı Kanun Ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun", https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.7103.pdf (06.04.2021)

TeknoDestek (2016), " Tivibu Ev", https://teknodestek.com.tr/tivibu-ev-nasil-kurulur-resimli-anlatim/ (28.03.2021)

TeknolojiProjeleri (2018), “Analog ve Sayısal Sinyaller Sistemler Nedir?”, https://teknolojiprojeleri.com/elektronik/analog-ve-sayisal-sinyaller-sistemler-nedir (02.12.2020)

Telestream (2021), “What is OTT?”, https://www.telestream.net/video/solutions/what-is-ott.htm (27.03.2021)

Turkcell (2020), “Turkcell’den Türkiye’nin İlk 5G Canlı Yayını”, https://medya.turkcell.com.tr/bulletins/turkcellden-turkiyenin-ilk-5g-canli-yayini/ (04.04.2021)

Türk Telekom (2020), “Türk Telekom Türkiye’nin ilk gerçek 5G canlı maç yayınını 360 derece kamera açısı deneyimiyle gerçekleştirdi”, https://medya.turktelekom.com.tr/turk-telekom-turkiyenin-ilk-gercek-5g-canli-mac-yayinini-360-derece-kamera-acisi-deneyimiyle-gerceklestirdi/ (04.04.2021)

Ulak Haberleşme A.Ş. (2021), “Ulak Haberleşme A.Ş.”, https://www.ulakhaberlesme.com.tr/index.php/tr/hakkimizda/sirket-profili (14.08.2021)

University of Minnesota, “Business Communication for Success, https://open.lib.umn.edu/businesscommunication/chapter/1-2-what-is-communication/ (17.11.2020)

University of Toronto Oise Ontario Institute For Studies in Education (2021), “Virtual Reality in the Classroom”, https://guides.library.utoronto.ca/c.php?g=607624&p=4938314 (22.03.2021)

USC - University of Southern California (2021), “Difference Between Communication and Broadcasting”, https://communicationmgmt.usc.edu/blog/communication-and-broadcasting/ (25.03.2021)

WHO (2021), “FACT: 5G Mobile Networks DO NOT Spread COVID-19”, https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters#5g (08.04.2021)

World Economic Forum (2020), Here's how the US can get the best out of 5G, https://www.weforum.org/agenda/2020/02/heres-what-needs-to-change-to-make-5g-a-reality/ (28.02.2021)

Zhu, Aria (2018), https://medium.com/@AriaZhu/serial-transmission-vs-parallel-transmission-3689e1af9200 (25.12.2020)

ÖZET

"Mobil Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve Bu Gelişmelerin Yayıncılık Sektörü Üzerine Etkileri" başlıklı tez çalışmasında öncelikle haberleşme sistemlerinin gelişim süreci, teknik altyapısı ve parametreleri anlatılmıştır. Sonrasında mobil geniş bant teknolojilerinde yaşanan gelişmeler incelenmiştir. Bu gelişmeler içerisinde özellikle 5G sistemleri üzerinde durulmuş ve sahip olduğu geniş kapsam nedeniyle hangi endüstrileri ne şekilde etkileyeceğine değinilmiştir.

Bununla birlikte, bu çalışmada mobil haberleşme teknolojilerinin Radyo ve Televizyon Üst Kurulu'nun görev alanında yer alan yayıncılık faaliyetlerine etkileri üzerinde durulmuştur. Ayrıca hem Türkiye'de hem de teknolojik gelişmelere öncülük eden dünya ülkelerinde 5G çalışmaları ve mobil sistemlerden etkilenen yayıncılık faaliyetleri ele alınmıştır.

Yayıncılık faaliyetleri çatısı altında sektördeki dijitalleşme ve yeni izleyici alışkanlıkları incelenmiş, konuya ilişkin yetkin mercilerce hazırlanan verilerden faydalanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bununla beraber, 5G'nin yayılımı, mobil şebekeler üzerinden içerik iletimi ve mobil yayıncılık konuları hakkında birtakım önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: 5G, Mobil, Teknoloji, Yayıncılık, OTT, SVoD, LTE, Mobil Haberleşme

ARŞİV Kayıt Bilgileri

Tezin Adı	Mobil Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve Bu Gelişmelerin Yayıncılık Sektörü Üzerine Etkileri
Tezin Yazarı	Yavuz DOĞAN
Tezin Danışmanı	Şakir AĞIRBAŞLI
Tezin Konumu	Uzmanlık Tezi
Tezin Tarihi	Haziran 2021
Tezin Alanı	Yayıncılık
Tezin Yeri	RTÜK – ANKARA
Anahtar Kelimeler	5G, Mobil, Teknoloji, Yayıncılık, OTT, SVoD, LTE, Mobil Haberleşme

ABSTRACT

In the thesis study titled "Developments in Mobile Communication Systems and the Effects of These Developments on Broadcasting Sector", first of all, the development process, technical infrastructure and parameters of communication systems are explained. After that, developments in mobile broadband technologies were examined. Among these developments, especially 5G systems have been emphasized and due to its wide scope, it has been touched on which industries how will be affected.

At the same time, in this study, the effects of mobile communication technologies on broadcasting activities in the field of duty of the Radio and Television Supreme Council are focused on. In addition, 5G studies and broadcasting activities affected by the mobile system is discussed in both Turkey and the countries which pioneered in technological developments around the world.

Digitalization and new audience habits in the sector were examined under the umbrella of broadcasting activities, and evaluations were made using the data prepared by the competent authorities on the subject. Along with this, some suggestions have been made about the deployment of 5G, content transmission over mobile networks and mobile broadcasting.

Keywords: 5G, Mobile, Technology, Broadcasting, OTT, SVoD, LTE, Mobile Communication

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Erzincan'ın Üzümlü ilçesinde dünyaya gelen Yavuz DOĞAN, ilk ve orta öğrenimini Üzümlü Merkez İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini ise Erzincan Anadolu Lisesinde tamamladı. 2009-2014 yılları arasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimi aldı. Üç yıllık bir özel sektör deneyiminin ardından Radyo ve Televizyon Üst Kurulu'nun açmış olduğu sınavda başarılı olarak 16 Şubat 2018 tarihinde Üst Kurul Uzman Yardımcısı olarak göreve başladı. Halen bu görevine devam etmekte olan DOĞAN, evli olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.