T.C.
RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU

5G İNTERNET YAYINCILIĞI iLE KARASAL SAYISAL TELEVİZYON YAYINCILIĞI ENTEGRASYONUNDA HİBRİT İLETİM MODELİ

UZMANLIK TEZİ

BÜŞRA MURATOĞLU

ANKARA
KASIM, 2024


RTÜK
RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU

T.C.

RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU

5G İNTERNET YAYINCILIĞI iLE KARASAL SAYISAL TELEVİZYON YAYINCILIĞI ENTEGRASYONUNDA HİBRİT İLETİM MODELİ

UZMANLIK TEZİ

BÜŞRA MURATOĞLU

DANIŞMAN: DAİRE BAŞKAN YARDIMCISI V. ALİ SARI

ANKARA
KASIM, 2024

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Başkanlığına,

Büşra MURATOĞLU adlı Üst Kurul Uzman Yardımcısının hazırladığı "5G İnternet Yayıncılığı ile Karasal Sayısal Televizyon Yayıncılığı Entegrasyonunda Hibrit İletim Modeli" başlıklı bu çalışma Tez Değerlendirme Komisyonu üyelerince oy birliği / oy çokluğu ile **Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

	Komisyon Üyeleri	İmza
Başkan	Ebubekir ŞAHİN Üst Kurul Başkanı	…….
Üye	Dr. Deniz GÜÇER Üst Kurul Üyesi	…….
Üye	Deniz GÜLER Üst Kurul Başkan Yardımcısı	…….
Üye	Murat ELLİALTI Daire Başkanı	…….
Üye	Ali SARI Üst Kurul Uzmanı (Tez Danışmanı)	…….

ONAY

Bu tez Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Uzmanlığı Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca …/…/20... tarihinde kabul edilmiştir.

Ebubekir ŞAHİN

Üst Kurul Başkanı

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

Bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,

Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,

Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,

Sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. …./…./2025

Büşra MURATOĞLU

TEŞEKKÜR

"5G İnternet Yayıncılığı ile Karasal Sayısal Televizyon Yayıncılığı Entegrasyonunda Hibrit İletim Modeli" adlı bu tezin hazırlanması süreci ile ilişkili olarak; Sayın Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Başkanı ile Üyelerine, Üst Kurul Başkan Yardımcıları Sayın Deniz GÜLER ve Sayın Dr. Feyzullah TECİRLİ'ye, İzin ve Tahsisler Dairesi Başkanı Sayın Ali KAPTAN'a ve her zaman desteğini esirgemeyen tez danışmanım İzin ve Tahsisler Dairesi Başkan Yardımcısı V. Sayın Ali SARI'ya, bu süreçte motivasyon kaynağım olan tüm arkadaşlarıma, başta annem Safiye MURATOĞLU ve kız kardeşim Rabia Vera MURATOĞLU olmak üzere kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

5G İNTERNET YAYINCILIĞI iLE KARASAL SAYISAL TELEVİZYON YAYINCILIĞI ENTEGRASYONUNDA HİBRİT İLETİM MODELİ

MURATOĞLU, Büşra
Uzmanlık Tezi
Tez Danışmanı: Daire Başkan Yardımcısı V. Ali SARI
Kasım, 2024, 154

Son yıllarda teknolojinin hızla değişiminden yayıncılık teknolojileri de etkilenmiştir. Hem teknolojinin hızla gelişimi hem de kısıtlı spektrum kaynakları yayıncılık sektörü için yeni tekniklerin arayışları için iki ana motive edici güç olmuştur. Analog teknikle yola başlayan yayıncılık serüveni önce sayısal tekniklerin bulunmasıyla sayısal yayıncılığa daha sonra da hücresel ağların hayatımıza girişiyle mobil yayıncılığa evrilmiştir. İnternete erişimin kolaylaşması, internetin hızlanması ve taşınabilir cihazların kullanılmaya başlanmasıyla oluşan ihyiyaçları karşılamak amacıyla geleneksel yayıncılık da değişime uğramak durumunda kalmıştır. Yeni iletim teknikleri araştırılmaktadır. Bu çalışmanın ana odak noktası olan "5G Broadcast", bu tekniklerden en güncel olanı ve en umut vaat edenidir.

Bu tez, sayısal yayıncılığın gelişimini ve 5G teknolojisinin getirdiği yeniliklerle birlikte 5G Broadcast'in potansiyelini detaylandırmaktadır. İlk olarak, analog yayıncılıktan dijital yayıncılığa geçiş süreci ele alınmakta, analog yayıncılığın dezavantajları, sınırlamaları ve sayısal teknolojilere geçişin sunduğu avantajlar incelenmektedir. Hücresel iletişim sistemlerinin ele alınmasının ardından, 5G Broadcast ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Tezin merkezinde yer alan 5G Broadcast teknolojisi, mevcut yayıncılık altyapısında dönüşüm sağlayacak şekilde, geniş kapsama alanına ve düşük gecikmeli yayın yapabilme kapasitesine sahiptir. 5G Broadcast, özellikle mobil cihazlardan yayınların alınabilmesi ve hareket halindeki kullanıcılara ulaşabilmesi açısından yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Ayrıca, 5G teknolojisinin getirdiği spektrum verimliliği ve kullanıcı deneyimini iyileştirme potansiyelinin bir sonucu olarak 5G Broadcast'in kamu uyarı sistemi kırsal alanlar ve kalabalık şehir merkezleri gibi farklı kullanım senaryoları için incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 5G Broadcast, 5G Yayını, Mobil Haberleşme, Sayısal Karasal Yayıncılık.

ABSTRACT

HYBRID TRANSMISSION MODEL FOR THE INTEGRATION OF 5G INTERNET BROADCASTING AND DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION BROADCASTING

MURATOĞLU, Büşra Specialization Thesis
Thesis Advisor: Vice Head of Department Ali SARI
November, 2024, 154

In recent years, broadcasting technologies have been significantly influenced by the rapid evolution of technology. The swift development of technology and the limitations of spectrum resources have been two primary motivating forces driving the search for new techniques in the broadcasting sector. The broadcasting journey, which began with analog techniques, first transitioned to digital broadcasting with the advent of digital technology, and later evolved into mobile broadcasting with the rise of cellular networks. As internet access has become more widespread, connection speeds have increased, and portable devices have grown in use, traditional broadcasting has been forced to adapt to meet these new demands. This has led to the exploration of new transmission techniques. The main focus of this study, "5G Broadcast," stands as the most current and promising of these techniques.

This thesis elaborates on the development of digital broadcasting and examines the potential of 5G Broadcast in light of the innovations brought by 5G technology. Initially, the transition process from analog to digital broadcasting is discussed, examining the disadvantages and limitations of analog broadcasting and the advantages offered by digital technologies. After discussing cellular communication systems, 5G Broadcast is explained in detail.

At the core of this thesis, 5G Broadcast technology is presented as a transformative element in existing broadcasting infrastructure, with its capacity for extensive coverage and low-latency broadcasting. 5G Broadcast introduces an innovative approach, especially in enabling broadcasts to be received on mobile devices and accessed by users on the move. Furthermore, as a result of the spectrum efficiency brought by 5G technology and its potential to improve user experience, 5G Broadcast's public alerting system has been studied for different usage scenarios such as rural areas and crowded urban centers.

Key Words: 5G Broadcast, 5G Broadcasting, Mobile Communication, Digital Broadcasting.

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
TABLOLAR DİZİNİ xi
KISALTMALAR/SİMGELER xv
BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1
Problem ve Amaç 2
Kapsam ve Önem 2
Araştırma Modeli 2
Verilerin Toplanması ve Çözümlenmesi 3
Araştırma Sınırlılıkları 3
Tanımlar ve Temel Kavramlar 3
Tezin Yapısı 4
BÖLÜM 2 5
SAYISAL YAYINCILIK SİSTEMLERİ 5
2.1. Analog Yayıncılık 5
2.2. Sayısal Yayıncılık 10
2.2.1. Sayısal Yayıncılık Teknikleri 11
2.2.1.1. Analog Sinyalin Sayısal Sinyale Dönüştürülmesi 12
2.2.2. Sayısal Yayıncılıkta Görüntü Formatları 14
2.2.2.1. Standart Çözünürlüklü Televizyon Sistemleri 14
2.2.2.2. Yüksek Çözünürlüklü Televizyon Teknolojileri 15
2.2.3. Kodlama Sistemleri 20
2.2.3.1. MPEG-1 21
2.2.3.2. MPEG-2 22
2.2.3.3. MPEG-4 22
2.2.3.4. H-264/AVC 24
2.2.3.5. H.265/HEVC 26

2.2.3.6. H.266/VVC 27
2.2.4. Sayısal Yayıncılık Standartları 28
2.2.4.1. DVB 29
2.2.4.2. ATSC 31
2.2.4.3. ISDB 32
2.2.4.4. DTMB 33
2.2.5. Sayısal Yayın İletim Ortamları 33
2.2.5.1. Uydu Ortamı 33
2.2.5.2. Kablo Ortamı 35
2.2.5.3. Karasal Ortam 36
2.2.5.4. Geniş Bant Ağlar 40
BÖLÜM 3 45
HÜCRESEL İLETİŞİM SİSTEMLERİ 45
3.1. Birinci Nesil (1G) 48
3.2. İkinci Nesil (2G) 51
3.2.1. 2.5G ve 2.75G: 53
3.3. Üçüncü Nesil (3G) 54
3.4. Dördüncü Nesil (4G) 58
3.4.1. WiMAX Standardı 62
3.4.2. LTE Standardı 63
3.4.3. LTE-Advanced (LTE-A) Standardı 64
3.5. Beşinci Nesil (5G) 65
3.5.1. 5G'de Kullanılan Teknolojiler 69
3.5.1.1. 5G Spektrumu 69
3.5.1.2. Milimetrik Dalga (mmWave) Kullanımı 70
3.5.1.3. Taşıyıcı Birleştirme (Carrier Aggregation - CA) ve İkili Bağlantı (Dual Connectivity - DC) 71
3.5.1.4. 5G Hücre Yapısı 72
3.5.1.5. Kapsamlı MIMO (Massive MIMO) ve Hüzmeleme (Beamforming) 74
3.5.1.6. Ağ Fonksiyonu Sanallaştırma (NFV) ve Yazılım Tanımlı Ağlar (SDN) 75
3.5.1.7. Ağ Dilimleme 76
3.5.1.8. Çoklu Erişimli Uç Bilişim (MEC) 77
3.5.1.9. Makineler Arası (M2M) İletişim 78
3.5.2. 5G'nin Sektörler Üzerindeki Etkisi 79
3.5.2.1. Tarım Sektörü 79

3.5.2.2. Otomotiv Sektörü ... 80
3.5.2.3. Sağlık Sektörü ... 81
3.5.2.4. Üretim Sektörü ve Endüstriyel Otomasyon ... 82
3.5.2.5. Enerji Sektörü ... 82
3.5.2.6. Medya ve Eğlence Sektörü ... 83
BÖLÜM 4 ... 87
5G İNTERNET YAYINCILIĞI iLE KARASAL SAYISAL TELEVİZYON YAYINCILIĞI ENTEGRASYONUNDA HİBRİT İLETİM MODELİ ... 87
4.1. Mobil Yayıncılığın 5G Yayınına Doğru Gelişimi ... 89
4.1.1. MBMS, eMBMS ve FeMBMS ... 90
4.1.2. 5G Yayını (5G Broadcast) ... 95
4.1.2.1. 5G Yayın Mimarisi ... 99
4.1.2.2. 5G Yayının Teknik Özellikleri ... 105
4.1.2.3. 5G Yayının Spektrum Kullanımı ... 106
4.1.2.4. 5G Yayın Kullanım Durumları ... 111
4.1.3. 5G Yayın Denemeleri ve Projeleri ... 114
4.1.3.1. Eurovision Şarkı Yarışması (2022) 5G Yayını ... 114
4.1.3.2. Çin ... 115
4.1.3.3. Almanya ... 118
4.1.3.4. Avusturya ... 121
4.1.3.5. İtalya ... 123
4.1.3.6. Fransa ... 125
4.1.3.7. Birleşik Krallık ... 128
4.1.3.8. Finlandiya ... 129
4.1.3.9. Danimarka ... 131
4.1.3.10. İspanya ... 131
4.1.3.11. Hırvatistan & Slovenya ... 132
4.1.3.12. Çek Cumhuriyeti ... 132
4.1.3.13. 5G-Xcast ... 132
BÖLÜM 5 ... 135
SONUÇLAR VE ÖNERİLER ... 135
Sonuçlar ... 135
Öneriler ... 138
KAYNAKLAR ... 143
ÖZGEÇMİŞ ... 155

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1. Analog Haberleşme Sistemi 7
Şekil 2. Analog yayıncılık standartlarının kullanıldığı ülkeler 7
Şekil 3. Sayısal Sinyal ve Analog Sinyal Gösterimi 11
Şekil 4. Analog Sinyalin Sayısal Sinyale Dönüştürülme Adımları 12
Şekil 5. Analog sinyalin sayısal sinyale dönüşümünde örnekleme adımı 13
Şekil 6. Analog Sinyalin Sayısala Dönüştürülmesi 13
Şekil 7. SD, HD, 4K-UHD ve 8K-UHD Formatlarının Karşılaştırması 17
Şekil 8. Verilerin Sıkıştırma ve Çözülmesine İlişkin Sistem Şeması 20
Şekil 9. Kodlama Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi 21
Şekil 10. Sayısal Karasal Televizyon standartlarının dağılımı 29
Şekil 11. Hibrit fiber-koaksiyel kablo ağının topolojisi 36
Şekil 12. Hücresel kablosuz iletişim sistemi 46
Şekil 13. Hücresel frekansın yeniden kullanımı 47
Şekil 14. Mobil ağ gelişiminin zaman çizelgesi 48
Şekil 15. Birinci nesil haberleşmede kullanılmış olan mobil cihaz örneği 50
Şekil 16. İkinci nesil cep telefonları 52
Şekil 17. Üçüncü nesil cep telefonları 55
Şekil 18. ITU-R tarafından onaylanan 4G sistemleri 59
Şekil 19. Ses tabanlı sistemlerden ağ bağlantılı sistemlere gelişim 60
Şekil 20. Dördüncü nesil mobil cihazlar 61
Şekil 21. WiMAX mimarisi 62
Şekil 22. LTE ağları için yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı isimlendirmesi 63
Şekil 23. 5G çiçeği 66
Şekil 24. IMT-2020 kullanım senaryoları 67
Şekil 25. mm Dalga spektrumu 70
Şekil 26. 5G hücre yapısı 72
Şekil 27. Kapsamlı MIMO ve hüzmeleme 75
Şekil 28. Ağ dilimleme 76
Şekil 29. Bulut bilişim ve uç bilişim modelleri 78

Şekil 30. Tarımda 5G. 80
Şekil 31. AR uygulaması 84
Şekil 32. Sayısal televizyon yayıncılığı ile mobil haberleşme sistemlerinin yakınsaması 88
Şekil 33. Hücresel yayın teknolojilerinin 2000-2015 yılları arası gelişimi 91
Şekil 34. Hücresel yayın teknolojilerinin 2015 sonrası gelişimi 95
Şekil 35. Çeşitli medya hizmetlerinin 5G mobil ağı ile dağıtımı 97
Şekil 37. 5G Yayın Mimarisi 102
Şekil 38. 5G Yayın İletimi için teknik çözümler 103
Şekil 39. 5G Bağımsız Broadcast modu 104
Şekil 40. 5G Broadcast karma mod 105
Şekil 41. 8 MHz TV kanal planında 5 MHz 5G Yayın bloklarının olası düzenlemeleri 107
Şekil 42. Sayısal karasal televizyon frekans planı içinde 8 MHz 5G Yayın blokları 108
Şekil 43. 700 MHz altı bandın üst kısmında 5 MHz'lik 8 blok içeren 5G Yayın segmenti 109
Şekil 44. 8 MHz'lik 5 bloklu 5G Yayın segmenti 110
Şekil 45. Dört adet 5 MHz bloklu SDL alt bandı 110
Şekil 46. Eurovision Yarışması (2022)'nda 4 sahalı 5G Broadcast denemesi kurulum şeması 115
Şekil 47. Oriental Pearl Televizyon Kulesi 117
Şekil 48. Nanjing Televizyon Kulesi 118
Şekil 49. NDR kanalının Hamburg 5G Yayını denemesinin hizmet alanı 119
Şekil 50. Viyana Test Sahası 121
Şekil 51. Nakolos Firması tarafında üretilen 5G Broadcast mobil arayüzü 123
Şekil 52. 5G-TOURS projesi kapsamında Torino'da araç içi 5G Broadcast test rotası 124
Şekil 53. Aosta Vadisi'nde simülasyon ve saha ölçümü karşılaştırılması 125
Şekil 54. Roland Garros Tenis Turnuvası 5G Yayını Denemesi 126
Şekil 55. Paris Olimpiyatları'nda TDF testleri sırasında 5G Yayın mobil alıcısı 128
Şekil 56. WIVE Projesi 5G Broadcast ve kamu uyarı sistemi gösterimi. 130

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo **Sayfa**

Tablo 1. Analog Sistemlerde Kullanılan Frekans Bantları 8
Tablo 2. SDTV ve HDTV'nin Görüntü Özellikleri 17
Tablo 3. Görüntü Kodlama Standartları Özellikleri 24
Tablo 4. WiMAX ve LTE arasındaki farklar 59
Tablo 5. 5G hücre yapılarının özellikleri 73
Tablo 6. Çeşitli ülkelerde 5G Yayını deneme ve dağıtım durumları 134

KISALTMALAR/SİMGELER

1G	Birinci nesil
2G	İkinci Nesil
3DTV	3 Boyutlu Televizyon
3G	Üçüncü Nesil
3GPP	3. Nesil Ortaklık Projesi
4G	Dördüncü Nesil
5G	Beşinci Nesil
5GBC	5G Broadcast Collective
ACTV	Amerika Gelişmiş Uyumlu Televizyon
ADC	Analog to Digital Converter
AI	Yapay Zekâ
AMPS	Gelişmiş Mobil Telefon Sistemi
API	Uygulama Programlama Arayüzü
AR	Artırılmış Gerçeklik
ARD	Arbeitsgemeinschaft Rundfunkanstalten Deutschland
ATSC	Advanced Television Systems Comitee
BBC	British Broadcasting Corporation
BM-SC	Broadcast Multicast Hizmet Merkezi
BR	Bayerischer Rundfunk
BSCC	Geleneksel Yayın Hizmeti Kontrol Merkezi
CA	Taşıyıcı Birleştirme
CDMA	Kod Bölmeli Çoğullama Erişimi
CDN	Mobil İçerik Dağıtım Ağları
DAC	Digital to Analog Converter
DBS	Direct Broadcast Satellite
DC	İkili Bağlantı
DTMB	Digital Terrestrial Multimedia Broadcast
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable
DVB-S	Digital Video Broadcasting Satellite

EBU	Avrupa Yayın Birliği
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
eMBB	Gelişmiş Mobil Geniş Bant
eMBMS	Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services
eNB	Baz İstasyonları
EnTV	Geliştirilmiş Televizyon
EPG	Elektronik Program Rehberi
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDD	Frekans Bölmeli Dubleksleme
FDMA	Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
FEC	İleri Hata Düzeltme
FeMBMS	Further Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service
FLUTE	Tek Yönlü Aktarım Üzerinden Dosya Dağıtımı
FM	Frekans Modülasyonu
FTA	Havadan Serbest Alış
GPRS	General Packet Radio Service
GSA	Global Mobile Suppliers Association
GSM	Global System For Mobile Communication
HD	Yüksek Çözünürlük
HDR	Yüksek Dinamik Aralıklı
HDTV	Yüksek Çözünürlüklü Televizyon
HEVC	High Efficiency Video Coding
HPHT	Yüksek Güçlü Yüksek Kule
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA+	Evolved HSPA
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	International Mobile Telecommunications
INTELSAT	Uluslararası Telekomünikasyon Uydu Örgütü
IoE	Herşeyin İnterneti
IoT	Nesnelerin İnterneti
IP	İnternet Protokolü
IRT	Institut Für Rundfunktechnik
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting

ITU	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
ITU-R ITU	Radiocommunication Sector
ITU-T ITU	Telecommunication Standardization Sector
JVT	Joint Video Team
JTACS	Japan Total Access Communications System
LDTV	Düşük Çözünürlüklü Televizyon
LPLT	Düşük Güçlü Alçak Kule
LTE	Long Term Evolution
M2M	Makineler Arası İletişim
MAC	Zaman Çoğaltmalı Analog Bileşenler
MBMS	Multimedya Yayın Çoklu Yayın Hizmeti
MBMS-GW	eMBMS Ağ Geçidi
MBSFN	Multicast-Broadcast Single-Frequency Network
MCE	Çok Hücreli/Multicast Koordinasyon Birimi
MCS	Japanese Mobile Cellular System
MEC	Çoklu Erişimli Uç Bilişim
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMS	Multimedya Mesajlaşma Servisi
mMTC	Devasa Makine Tipi İletişim
MPEG	Moving Picture Experts Group
MWC	Mobil Dünya Kongresi
NFV	Ağ İşlevleri Sanallaştırması
NMT	Nordic Mobile Telephony
NR	Yeni Radyo
NTSC	National Television System Committee
NTT	Nippon Telefon ve Telgraf Şirketi
OFDM	Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama
OFDMA	Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
OTA	Over-The-Air
P2P	Noktadan Noktaya İletişim
PAL	Phase Alternate Line
PDC	Personal Digital Cellular
PTM	Noktadan Çok Noktaya Yayın
QAM	Quadrature Amplitude Modulation

QoS	Hizmet Kalitesi
RAI	Radiotelevisione Italian
RAN	Erişim Ağı
SAE	Sistem Mimarisi Evrimi
SCFDMA	Tek Taşıyıcılı FDMA
SD	Standart Çözünürlük
SDL	Ek Aşağı Bağlantı
SDN	Yazılım Tanımlı Ağ
SDR	Standart Dinamik Aralıklı
SECAM	Séquentiel Couleur à Mémore
SFN	Tek Frekans Ağı
SHV	SuperHi-Vision
SWR	Südwestrundfunk
TACS	Total Access Communication System
TDD	Zaman Bölmeli Dubleksleme
TDMA	Zaman Bölmeli Çoğullama Erişimi
UE	Kullanıcı Cihazı
UHD	Ultra Yüksek Çözünürlük
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
URLLC	Aşırı Güvenilirli ve Düşük Gecikmeli İletişim
UTRAN	UMTS Karasal Radyo Erişim Ağı
V2X	Vehicle to Everything
VCEG	Video Kodlama Uzmanları Grubu
VHF	Very High Frequency
VHS	Ev Video Sistemi
VR	Sanal Gerçeklik
VVC	Çok Yönlü Video Kodlama
WAP	Kablosuz Uygulama Protokolü
WiMAX	Worldwide Interoperability For Microwave Access

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yayıncılık teknolojileri, 20. yüzyılın ortalarından itibaren hızla gelişmiş ve medya içeriklerinin geniş kitlelere ulaşmasını sağlamıştır. Bu süreç, teknolojik ilerlemelerle sürekli bir dönüşüm göstermektedir. İlk olarak analog yayıncılık teknolojileri ile başlayan bu süreç, sayısal teknolojilerin olgunlaşmasıyla sayısal yayıncılığa, günümüzde ise yeni nesil mobil iletişim teknolojilerinin bir ürünü olan "5G Yayın"a doğru evrilmiştir.

Analog yayıncılık, elektromanyetik dalgalar yoluyla ses ve görüntü sinyallerinin iletilmesine dayanan bir teknolojidir. Analog yayınlarda sinyaller, sürekli dalgalar olarak iletilmekte ve ortam koşullarından kolayca etkilenmekte ve görüntü/ses kalitesi düşüşüne neden olmaktadır. Ayrıca analog sistemlerde veri sıkıştırma ve ek hizmetler gibi olanaklar sınırlı olduğundan spektrumun verimli kullanılmamasına neden olmaktadır.

Sayısal teknolojilerin gelişmesiyle, sayısal yayıncılığa geçiş önemli bir dönüm noktası olmuştur. Sayısal yayıncılık, verilerin sayısal formatta iletilmesini sağlayarak hem daha yüksek kalite elde edilmesini hem de veri sıkıştırma teknolojileri sayesinde frekans spektrumunun daha verimli kullanılmasını mümkün kılmıştır. Ayrıca sayısal yayınlar, kullanıcıya elektronik program rehberleri, altyazı ve çoklu dil seçenekleri gibi ek hizmetler sunma imkânı tanımıştır.

Sayısal yayıncılığın ardından, mobil iletişim teknolojilerindeki gelişmeler medya içeriklerinin mobil ağlar üzerinden daha verimli bir şekilde iletilmesini sağlamıştır. 4G'nin sağladığı yüksek veri hızları ve geniş kapsama alanları sayesinde medya yayıncılığında hücresel ağların kullanılmasına başlanmıştır. 5G teknolojisi, bu entegrasyonu bir adım ileri taşıyarak "5G Broadcast" adı verilen yeni bir yayıncılık modeli ortaya çıkarmıştır. 5G Broadcast, geleneksel yayıncılık ile mobil iletişim ağlarını birleştirerek aynı anda milyonlarca kullanıcıya tek bir sinyalle içerik iletebilme kabiliyetine sahip bir teknoloji sunmaktadır.

5G Broadcast, medya endüstrisinin geleceğinde merkezi bir rol oynamaya aday olup, geniş kitlelere aynı anda ulaşmanın yanı sıra kişiselleştirilmiş içerik sunumu açısından da önemli yenilikler getirmektedir.

Problem ve Amaç

Günümüzde, bilgi ve eğlenceye erişimin artan hız ve anlık veri iletimi gereksinimleri, medya ve iletişim teknolojilerinde köklü dönüşümleri zorunlu hale getirmiştir. Özellikle yayıncılık alanında, geleneksel analog ve sayısal televizyon yayıncılığına göre esnek ve geniş kapsama alanı sunan sistemlere geçişin yolları aranmaktadır. Bu noktada, 5G teknolojisinin bir alt bileşeni olan 5G Broadcast sistemi, medya içeriklerinin kitlelere ulaştırılmasında yeni bir dönem açma potansiyeli taşımaktadır. Televizyon ve radyo yayınlarının, geniş kapsama alanı ve yüksek hızda aktarılmasını sağlayarak mobil cihazlara doğrudan ulaştırılabilmesi, 5G Broadcast'i medya ve yayıncılık sektöründe önemli bir yenilik haline getirmiştir.

Bu çalışma, 5G Broadcast'in yayıncılık sektöründe oynadığı rolünü, tarihsel evrimini ve gelecekteki olası etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır.

Kapsam ve Önem

Bu çalışma 5G Broadcast'in yaygınlaşmasının yayıncılık üzerindeki etkilerini analiz etmeyi hedeflemektedir. Sayısal çağda, medya tüketicileri her an, her yerden içeriklere ulaşmak istemekte ve bu da medya içeriklerinin hızla iletilmesini gerektirmektedir. 5G Broadcast, geleneksel yayıncılık sistemlerinin sınırlılıklarını ortadan kaldırmakta, özellikle mobil kullanıcıların medya tüketim alışkanlıklarına hitap eden bir çözüm sunmaktadır. Hücresel ağlar üzerinden sunulan 5G Broadcast, televizyon ve radyo yayınlarının mobil cihazlara doğrudan iletilmesine imkân tanıyarak, yayıncılık ve telekomünikasyon sektörleri arasında bir köprü işlevi görmektedir. Bu bağlamda, çalışma hem sektörel bir yeniliği ele almakta hem de medya teknolojilerinin geleceğine ışık tutmaktadır.

Araştırma Modeli

Betimsel analiz modeli üzerine kurulu olan bu çalışmada, 5G Broadcast teknolojisinin teknik yapısı ve kullanım durumları kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Betimsel analiz modeli, literatürden ve sektörel kaynaklardan elde edilen bilgilerin düzenli bir biçimde analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu model, karasal sayısal yayıncılık ile hücresel ağ sistemlerinin yayıncılık sektörüne entegrasyon sürecini teorik bir çerçevede ele alarak 5G Broadcast'in medya sektörü üzerindeki olası etkilerini değerlendirmeyi kolaylaştırmaktadır.

Verilerin Toplanması ve Çözümlenmesi

Çalışma verileri, literatür taraması yöntemiyle toplanmıştır. Bu kapsamda 5G Broadcast, hücresel haberleşme ve sayısal yayıncılıkla ilgili akademik makaleler, teknik raporlar, saha çalışmaları incelenmiştir. Ayrıca, 5G Broadcast ile ilgili uluslararası telekomünikasyon kurumlarının raporları ve standardizasyon dökümanlarından elde edilen bilgiler analiz edilmiştir. Bu veriler, 5G Broadcast'in medya sektöründe oynayabileceği rolü kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için bir temel oluşturmaktadır.

Verilen toplanması ve çözümlenmesi sürecinde, sayısal yayıncılık ve hücresel haberleşme sistemlerinin teknik özellikleri, kapsama alanları ve yayıncılık sektöründeki durumları analiz edilmiştir. 5G Broadcast'in teknik yapısı, hücresel ağlarla olan ilişkisi, veri aktarım hızı, kapsama alanı, enerji verimliliği ve içerik iletimi gibi temel parametreler üzerinden analiz edilmiştir. Ayrıca, 5G Broadcast'in kullanım olanakları değerlendirilmiştir.

Araştırma Sınırlılıkları

Araştırma, teknik belgeler ve akademik çalışmalardan elde edilen bilgilerle sınırlı olup pratik uygulama veya deneysel veri içermez. Ayrıca, henüz çok yeni bir teknoloji olmasından kaynaklı olarak literatür kaynakları sınırlı sayıdadır. Çalışma yalnızca literatürdeki mevcut bilgiye dayalı kısıtlı bir teorik analiz olmuştur.

Tanımlar ve Temel Kavramlar

Sayısal Yayıncılık: Medya içeriklerinin dijital olarak iletilmesi sürecidir; görüntü ve ses kalitesinde iyileştirmeler ve daha fazla veri iletimi sağlamaktadır.

Hücresel Haberleşme: Verilerin, hücre adı verilen küçük kapsama alanlarına bölünmüş bir sistem üzerinden iletilmesini sağlayan kablosuz iletişim teknolojisidir. 5G Broadcast için altyapı oluşturmaktadır.

5G Teknolojisi: Hücresel ağların beşinci nesil teknolojisini ifade eden 5G, düşük gecikme süresi, yüksek veri hızı ve geniş kapsama alanı sunarak yayıncılık ve telekomünikasyon gibi alanlarda önemli yenilikler sağlamaktadır.

5G Broadcast: 5G altyapısı üzerinden geniş kitlelere yüksek hızda veri yayınlama kapasitesine sahip olan sistem, televizyon ve radyo yayınlarının doğrudan mobil cihazlara aktarılmasını mümkün kılmaktadır.

Tezin Yapısı

Bu tez, sayısal yayıncılık sistemleri, hücresel haberleşme sistemleri ve 5G Broadcast'in yayıncılık sektörü üzerindeki durumlarını kapsamlı bir şekilde ele almaktadır.

Birinci bölümde sayısal yayıncılık sistemleri, ikinci bölümde hücresel haberleşme sistemlerinin tarihçesi ve teknik özellikleri incelenirken üçüncü bölümde ise 5G Broadcast ve saha denemeleri incelenmiştir. Sonuç bölümünde, 5G yayıncılığın gelecekte yayıncılık sektörü üzerinde yaratacağı olası durumlar ve Türkiye genelinde RTÜK özelinde neler yapılabileceği değerlendirilmiştir.

.

BÖLÜM 2

SAYISAL YAYINCILIK SİSTEMLERİ

2.1. Analog Yayıncılık

İnsanlık tarihinin çok erken dönemlerinden bu yana, insanlar iletişim kurmak amacıyla bilgiyi sürükleyici görsel-işitsel anlatılar yoluyla paylaşma becerisini geliştirmişlerdir. Günümüzde kullandığımız televizyonun atası, dünyanın dört bir yanındaki mağaralarda bulunan duvar resimlerinin medya fosil kalıntılarına dayandırılabilir. İnsanların metin, ses, resim, müzik ve diğer analog medya yoluyla anlatım tekniklerini geliştirmesi yüzyıllar almıştır (Mozar ve Glasman, 2023: 81).

Fotoğrafın icadı ve hemen ardından sinema, insanların birbirleriyle dinamik görsel-işitsel anlatılar aracılığıyla iletişim kurmasında önemli teknolojik adımlar olmuştur; ayrıca sinema görsel-işitsel anlatıları kitlelere taşımıştır (Mozar ve Glasman, 2023: 81). Gözün gördüğünü kaydedip tekrar üretme isteği fotoğrafın bulunmasına yol açarken hareketli görüntüler elde etme isteği sinemanın doğuşuna temel olmuştur. Televizyonun icat edilmesi sürecindeki atılan adımlar da fotağraf ve sinemanın icat edildiği aşamalarla benzerdir ancak üretim teknolojileri farklı tekniklere dayanmaktadır. Bir dizi elektronik işlem sonucu üretilen televizyon görüntüsü elektromanyetik sinyaller aracılığıyla izleyiciye iletilmektedir ve izleyici tarafındaki elektronik cihazla yeniden görüntüye dönüştürülmektedir (MEB, 2008: 26).

19. yüzyılın sonunda Paul Nipkow'un bulduğu mekanik bir tarama yapan döner diskin icadı ile 20. yüzyılın ilk yıllarında vakum tüpünün ve görüntüleri fosforlu bir ekranda görüntülemek için geliştirilmiş katot ışınlı tüpün icadı, radyo frekans dalgaları teknolojisindeki gelişmelerle birlikte ilk televizyon yayıncılığının yolu açmıştır (Bay, 2007: 42; Macksey ve Woodhouse, 1991: 110; Pcmagazin, 2015).

1926 yılında John L. Baird ilkel bir elektronik tarama aracılığıyla her bir saniyede 28 satır ile 12,5 kare tarayan ve infrared ışınları kullanarak karanlıkta görüntü alabilen bir sistem ile siyah ve turuncu renkteki bir resmi gösterebilmiştir. Bu gösterim başarısı televizyonun icadı olarak kabul edilmektedir Berlin 1936 Yaz Olimpiyat Oyunlarının yayınlanması bir başka önemli adımdır. Oyunlar ilk televizyon istasyonu olan Fernsehsender "Paul Nipkow" (Televizyon İstasyonu) tarafından yayınlanmıştır (Bay, 2007: 42; Pcmagazin, 2015).

Baird‟in gösterimi ve 1936 Berlin Yaz olimpiyatlarını takiben, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) şirketler tarafından televizyon teknolojileri üzerine yapılan araştırmalara hız verilmiştir Vladimir Zwortkin (Westinghouse şirketi çalışanı) "ikonoskop" adlı buluşuyla elektronik tarama yöntemi kullanarak ilk görüntü yayını yapmayı başarmıştır. (MEB, 2008: 28).

Televizyon yayıncılığının başlangıcından 20. yüzyılın sonlarına kadar olan süreç içerisinde yayınlar yalnızca analog teknoloji kullanılarak yapılmaktaydı. Radyo ve televizyon yayıncılığının ortaya çıkışı, analog teknolojiye dayandığı için, geleneksel yayıncılığının temel yapı taşını analog teknoloji oluşturmuştur.

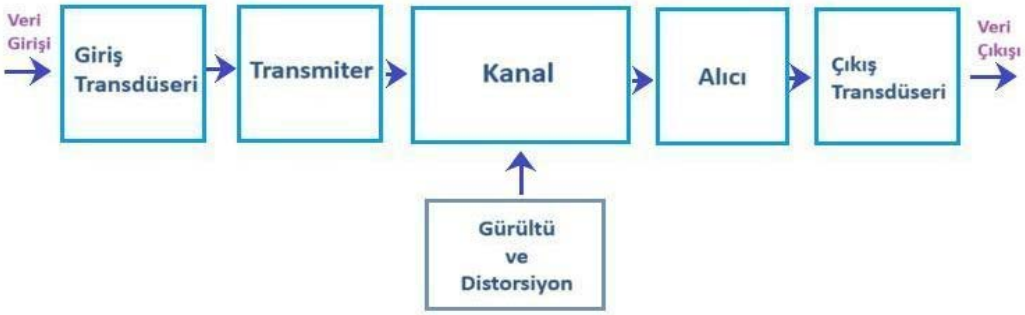
Analog terimi, kesintisiz ve değişken elektronik sinyaller ile veri iletme yöntemini ifade etmektedir. Analog teknolojisinin en belirgin özelliği, iki frekans arasındaki değerin sonsuz olmasıdır. Değişken frekansa sahip sinyaller ya da taşıyıcı dalgalar üzerine belli bir frekansta olan ve dinamik görüntü ile sesi içeren elektromanyetik akımın eklenmesi ile analog yayıncılık gerçekleştirilmektedir. Başka bir deyişle, analog sisteme dayalı yayınlarda sinyaller sürekli olarak değişkendir ve iki frekans aralığında sonsuz değer alabilirler. İletilen görüntü ve ses sinyalinin içerdiği veri, frekanstaki ve yayın sinyalindeki değişiklikler ile temsil edilmektedir (Kırık, 2015: 130; Yaman, 2017: 244).

Analog televizyon, parlaklık ve renkte düzensizliğe neden olan ve iki frekans arasında sürekli değişen sinyalleri kullanan bir televizyon sistemidir. Radyo ve televizyon yayınlarındaki görüntü ve/veya ses verileri analog yayın tekniği kullanıldığında voltaj seviyeleri üzerinden dağıtılmaktadır. Sinyallerin değişkenliği voltajda yaşanabilecek düşüşlere sebebiyet vererek yayıncılık için dezavantajlı olan görüntü ve ses bozulmalarına yol açmaktadır (Aydın, 2000: 11; Kırık, 2010: 30; Kırık, 2015: 130).

Analog yayın sistemi, verilerin bir uçtan diğer uca iletilmesine yardımcı olan model ile tanımlanmaktadır. Bu modelde gönderen ve alıcı arasında bağlantı sağlamak amacıyla beraber çalışan dönüştürücüler (trandüser ve transmitter), verici, kanal ve alıcı unsurları birleştirilmektedir. Dönüştürücülerin işlevi bir enerji formunu diğerine dönüştürmektir. Kanal, elektriksel bilginin vericiden alıcıya iletilmesi için bir ortam görevi görmektedir. Analog haberleşme sisteminin blok şeması aşağıda gösterilmiştir:

Şekil 1

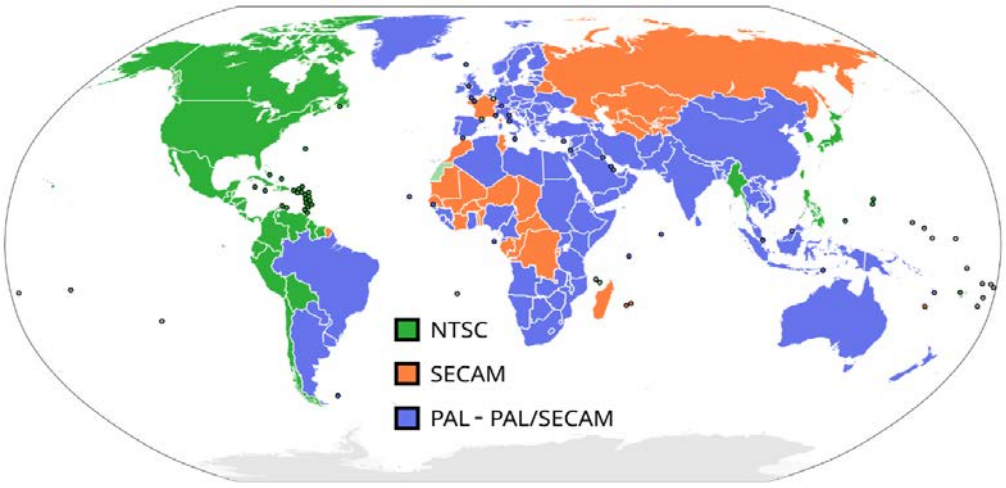
Analog Haberleşme Sistemi (Javatpoint, n.d.)



Analog yayıncılık sistemlerinin geliştirilmesi dünyada üç ana standart aracılığıyla yayılmıştır: NTSC, SECAM, PAL. Bu formatlardaki televizyon programları, yarım yüzyıldan fazla bir zaman geçse bile birçok ülkede izlenmektedir. NTSC sistemi (National Television System Committee - Ulusal Televizyon Sistemi Komitesi); Kuzey ve Orta Amerika'da, Güney Amerika'nın doğusundaki birçok ülkede, Japonya, Güney Kore ve Güneydoğu Asya'daki birçok ülkede kullanılmaktadır. SECAM sistemi (Séquentiel Couleur à Mémore - Bellekli Sıralı Renkli), Rusya, Doğu Avrupa ülkeleri ve Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) ülkeleri, Fransa, Kuzey Afrika'nın çoğu ve Güneydoğu Asya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. PAL (Phase Alternate Line - Faz Alternatif Hat) sistemi, çoğu Batı ve Kuzey Avrupa ülkesi, Hindistan, Çin, Avustralya, Brezilya, Arjantin, Angola ve diğer birçok ülkede kullanılmaktadır (Şekil 2) (Dvorkovich ve Dvorkovich, 2012: 1008; ITU-R.BT.2043, 2004).

Şekil 2

Analog yayıncılık standartlarının kullanıldığı ülkeler (Romain, 2021)



Karasal analog televizyon yayınları için VHF (Very High Frequency), UHF-4 ve UHF-5 (Ultra High Frequency) frekans bantları kullanılırken analog radyo yayınları da FM bandını kullanmaktadır. Analog yayınlardan her biri sadece tek bir kanaldan yayın yapabildikleri için yayın yapılabilecek kanal sayısı oldukça azdır. Analog televizyon sistemi genel olarak VHF bandında 7 MHz bantlar aracılığıyla ve UHF bandında da 8 MHz bantlar aracılığıyla kullanılmaktadır. Yayın, televizyon görüntülerinin bir 5 MHz blokta üretilmesi ve sesin bunun üzerine eklenerek iletilmesi şeklinde oluşturulmuştur. Tablo 1'de Türkiye'nin de dahil olduğu Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union - ITU) 1. Bölgede, halihazırda analog yayınlarda kullanılan frekans bantları gösterilmektedir (Paçacı, 2011).

Tablo 1

Analog Sistemlerde Kullanılan Frekans Bantları (Penttinen, 2015: 538)

Bant	Frekans Aralığı
FM (Radyo)	87.5 – 108 MHz
VHF	174 – 230 MHz
UHF	470 – 694 MHz

Analog televizyon yayınında parlaklık, senkronizasyon, renkler ve ses gibi bilgiler sinyal modülasyonu veya elektrik sinyalinin genlik, frekans veya fazındaki hızlı değişimlerle temsil edilmektedir. Analog sinyal iletiminde taşıyıcı sinyalin frekansı, fazı, genliği veya bu parametrelerin bir birleşimi, tek seferde elde edilen sonuca göre değiştirilmektedir. Anlaşılır ve basit bir sistem olmasına rağmen analog yayın sistemi uygulamada bazı sorunlara sahiptir:

1. Sinyal iletim verimliliği açısından, analog iletim büyük ölçüde mevcut bant genişliği ile kısıtlanmaktadır. Ek olarak, yakın alanlarda bulunan ortak kanal ve bitişik kanallarda karşılıklı enterferansı önlemek amacıyla aynı programları farklı alanlara taşımak için farklı analog kanalların kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla spektrum verimliliği azalmakta ve mevcut spektrumun sınırlı olmasına bağlı olarak aynı bölgeye ek kanallar atanmasıyla yeni programların sunulması zorlaşmaktadır.

2. Sinyal iletim kalitesi açısından, analog sinyal, çok yansımalı enterferans önleme yeteneğine sahip olmadığı için izleyicinin/dinleyicinin deneyimini önemli ölçüde olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, analog iletim sinyalinin daha büyük bir iletim alanı için güçlendirilmesi gerektiğinde, gürültü birikimi ve sinyal-gürültü oranının bozulması nedeniyle sinyal kalitesini düşürecektir.
3. Elektromanyetik dalgaların kalitesini düşüren faktörler (alıcı ile verici arasındaki coğrafik zorluklar, alıcıların vericilere olan uzaklığı ve kanalların üzerindeki enterferans gibi) sebebiyle, görüntüde karlanma, gölgelenme; seste cızırtı, bozulma meydana gelebilmektedir. Analog yayınlarda, elektromanyetik dalgalar iletim ortamından uzak bir engele çarpıp antene yansıdığında, yayında gölgelenmeler oluşmaktadır.
4. Analog iletimdeki yansımalar yayını bozma etkisi sebebiyle yalnızca sabit cihazlarla alınmakta olup hareket halindeki mobil alım (akıllı telefon, tablet, laptop vb. cihazlar) için uygun değildir. Dolayısıyla farklı yayıncılık platformlar arasındaki yakınsama zorlaşmaktadır.
5. Video programlarının uzun süreli saklanması, dağıtılması ve kalitesi açısından analog televizyon program kaynağı; renk-parlaklık arasındaki girişimden, geniş alan titremesinden ve zayıf görüntü çözünürlüğü sorunlarına sahiptir ve birden fazla kez içeriğin çoğaltılması güçtür.
6. Analog televizyon devreleri, iletim donanımı ve terminalleri açısından, devrelerin doğrusal olmamasına bağlı olarak görüntülerin geometrik bozulmasına sebep olmaktadır; amplifikatörlerin faz bozulması ise renk sapmasını yoğunlaştırmaktadır. Ayrıca, analog televizyon; düşük kararlılık, kalibrasyon zorluğu, düşük entegrasyon derecesi, otomatik kontrol ve izleme gibi sorunlarla karşı karşıyadır.
7. Analog teknolojide örnekleme, veri sıkıştırma ve hata düzeltme yöntemleri uygulanmadan, aktarılacak bilginin tamamı gönderilmektedir.
8. Analog sistemler sayısal sistemlere yüksek güç tüketimli vericilerle çalışmaktadır. Dolayısıyla enerji, verici ve işletme maliyetleri oldukça yüksektir.
9. Karasal televizyon yayınlarının yapıldığı VHF ve UHF frekans bantlarında 6, 7 veya 8 MHz'lik bant genişliğinde olan bir kanaldan yalnızca bir analog televizyon yayını yayınlanabilmektedir. Yayın sayısı, kanal sayısı ile sınırlıdır.

10. Analog televizyon yayıncılığında sadece teleteks bilgisi hizmeti bulunmaktadır ve etkileşimli yayın hizmetlerini desteklememektedir.
11. Yeni hizmetlerin kullanım alanı için frekans spektrumu kısıtlı bir kaynak olması ve bununla birlikte komşu kanal girişimini ortadan kaldırmak için yüksek koruma aralığı gerektirmesi, analog yayıncılığının önemli dezavantajlarındandır (Morgül, 2011: 136; Kaymakçıoğlu, 2014:8; WU, 2006).

Analog teknolojinin dezavantajların çoğu sayısal teknolojinin gelişimi ve yayıncılık alanında kullanılmasıyla ortadan kaldırılmıştır. 1990'lı yıllara gelindiğinde yayın iletim ağları, sayısal teknolojilerle tanışmaya başlamıştır. Sürekli olarak çeşitli uygulamalar denenerek değişimin ve geleceğin sayısal yayın teknolojisi olacağı net bir şekilde fark edilmiştir (Durmaz, 2004: 4). Sayısal yayın teknolojisiyle birlikte birçok ülkenin radyo ve televizyon sistemleri, 2000'li yılların başından itibaren hızlı bir şekilde eski analog sistemlerden sayısal sistemlere dönüştürülmüştür. Bununla birlikte günümüzde, yayıncılık teknolojilerinde yaşanan bu hızlı değişime rağmen, analog teknolojiler de tamamen terk edilmemiştir. Analog radyo ve televizyon sistemlerinin kullanımından uzun bir süre tamamen vazgeçilmeyecektir. Analog sistemlerde kullanılan cihazların hızlı bir şekilde sayısal cihazlarla değiştirilemeyeceği gerçeğinden dolayı, birçok kırsal alan ve sınır bölgesinde kalan alanlarda mantıklı bir iletişim yoludur (Şeker, 2009: 27).

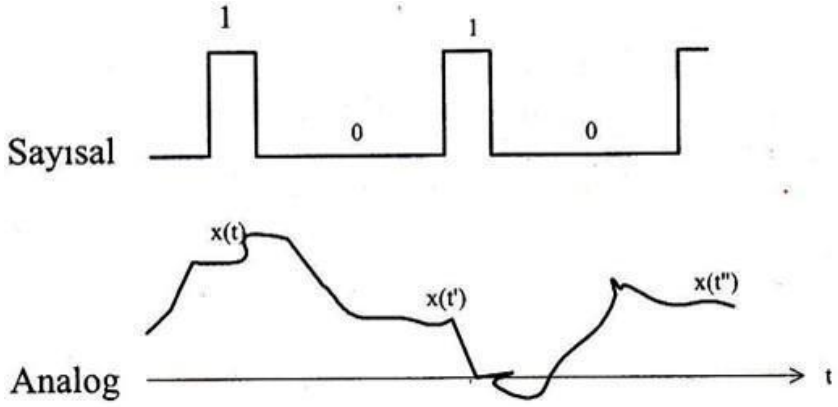
2.2. Sayısal Yayıncılık

Rakamları (0'dan 9'a kadar olan sayıları) belirten "Digit" kelimesinden köken alan "Digital (Dijital)" sözcüğü Türkçe'de "sayısal" sözcüğü ile karşılık bulmuştur. Sayısal teknik; çeşitli analog bilgi (ses, veri, metin, görüntü vb.) biçimindeki farklı bilgi sinyallerinin "bit" adı verilen "0 ve 1"lere (bilgisayar diline) dönüştürülmesi işlemidir. Bu teknikten hareketle sayısal yayıncılık; analog olarak üretilen ses ve görüntü bilgilerinin bitlere dönüştürülüp gerekli olan kodlama teknikleri yapıldıktan sonra farklı modülasyonlarla iletilmesi olarak tanımlanmaktadır (Eralp, 2010; Zengin, 2016: 186).

Analog sistemlerde elektriksel sinyaller, belli sınırlar aralığında herhangi bir değer alabileceği şekilde sürekli olarak değişmektedir. Sayısal sistemlerde ise elektriksel sinyaller, söz konusu sinyale karşılık gelen '0' veya '1' rakamları ile iletilmektedir (Şekil 3). Başka bir şekilde ifade edilirse, sayısal sistem, veri taşıma sinyallerinin 'açık (1)' veya 'kapalı (0)' adı verilen iki voltaj düzeyine indirilmesini sağlamaktadır (Aydın, 2000: 60).

Şekil 3

Sayısal Sinyal ve Analog Sinyal Gösterimi (Celal, 2021)



Elektronik devrelerin çoğu analog olarak tasarlanmaya başlasa da zamanla, elektronik sistemler sayısal tekniğe yönelmiştir. Bu geçişin ana nedenleri arasında, sayısal elektronik sistemlerin gürültü gibi çevresel faktörlerden daha az etkilenmesi ve daha güvenilir olması bulunmaktadır. Ek olarak sistemlerin aynı şekilde tekrarlanabilirliği, kararlı sinyal kalitesi ve sayısal sistemlerin birçok uygulamada maliyet açısından avantajlı olması da bu geçişi hızlandırmıştır (Morgül, 2011: 136).

2.2.1. Sayısal Yayıncılık Teknikleri

Sayısal yayıncılık sistemleri, sayısal teknolojilerin gelişim hızına bağlı olarak hızla gelişmektedir. İzleyicilerin/dinleyicilerin kullandığı teknolojiler henüz tam olarak anlaşılamadan yeni teknolojiler ortaya çıkmakta ve bu eğilim devam etmektedir. Bu bağlamda hâlihazırda hem yaygın olarak kullanılan hem de hala geliştirilmekte olan yeni yayıncılık teknolojileri bulunmaktadır (Demir, 2007:9).

Analog yayıncılıkta, ses ve görüntü analog biçimde modüle edilerek hava veya kablo gibi iletim ortamlarıyla izleyicilere iletilmektedir. Analog modüleli sinyaller, bu iletim boyunca, iletim ortamının koşullarına bağlı olarak zayıflamakta, bozulmakta ve yansımalara uğramaktadır. Genellikle, alıcıya ulaşan sinyaller net bir görüntü sağlayamadığı için bu durumu gidermek amacıyla yüksek güçlü sistemler tercih edilmektedir (Demir, 2007: 9).

Sayısal yayıncılıkta içerik önce sayısala dönüştürülüp sıkıştırılmakta, ardından sayısal tekniklere uygun modülasyon yöntemlerine göre modüle edilerek iletim hattına gönderilmektedir. Sayısal yayınlar; sayısal tekniklere özgü hata düzeltme özelliklerini ve modülasyon tekniğini kullanarak, daha düşük güçlü vericilerle iletim hattına verilmektedir.

Alıcılarda, analog yayının tersine, daha net görüntü elde etme imkânı bulunmaktadır (Demir, 2007: 9).

2.2.1.1. Analog Sinyalin Sayısal Sinyale Dönüştürülmesi

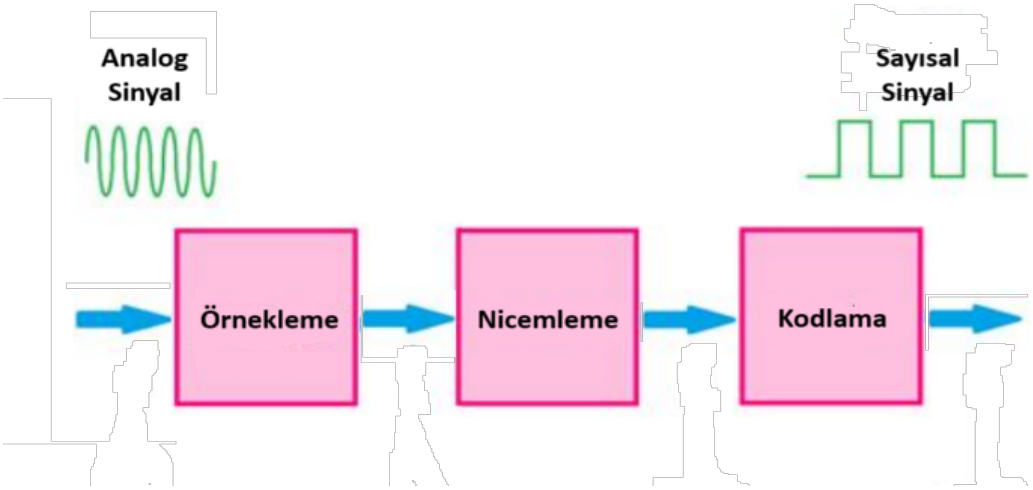
Analog sistemlerin ana prensibi; elektrik sinyallerinin belirli bir aralıkta herhangi bir değeri alabilecek şekilde sürekli değişmesidir. Sayısal sistemlerdeki ana prensibe göre ise elektrik sinyalleri doğrudan işlenmez, bunu yerine sinyaller rakamsal ifadelerle temsil edilerek işlenip iletilmektedir.

Elektriksel sistemlerin giriş ve çıkış sinyalleri genellikle analog yapıdadır. Bu sinyallerin sayısal sistemlerde işlenmesi ve iletilmesi için analogdan sayısala (Analog to Digital Converter - ADC) ve sayısaldan analoğa (Digital to Analog Converter - DAC) olacak şekilde sinyal dönüştürücüler kullanılması gerekmektedir.

Yayın ileten sinyaller stüdyolarda doğrudan sayısal sinyaller olarak üretilebildiği gibi başlangıçta analog olan sinyalleri sayısal sinyallere dönüştürerek de sağlanabilmektedir. Analog sinyalin sayısala dönüştürülürken örnekleme, dilimleme (basamaklama) ve kodlama aşamaları takip edilmektedir (Şekil 4).

Şekil 4

Analog Sinyalin Sayısal Sinyale Dönüştürülme Adımları (Morgül, 2011: 137)

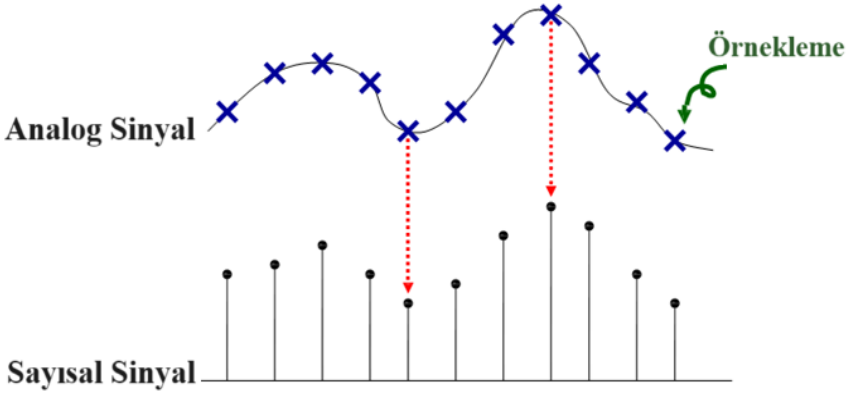


Analog sinyaller genlik ve zaman açısından sürekli bir biçimde olduğu için sayısal sinyallere dönüştürebilmek için belirli aralıklarla örneklenmesi gerekmektedir (Şekil 5). Örneklemenin sıklığı, sayısallaştırılacak sinyalin en yüksek frekansının en az iki katı

değerinde olmazsa spektrum örtüşmesi meydana gelerek sinyal tekrar elde edilemeyecek şekilde bozulmaktadır.

Şekil 5

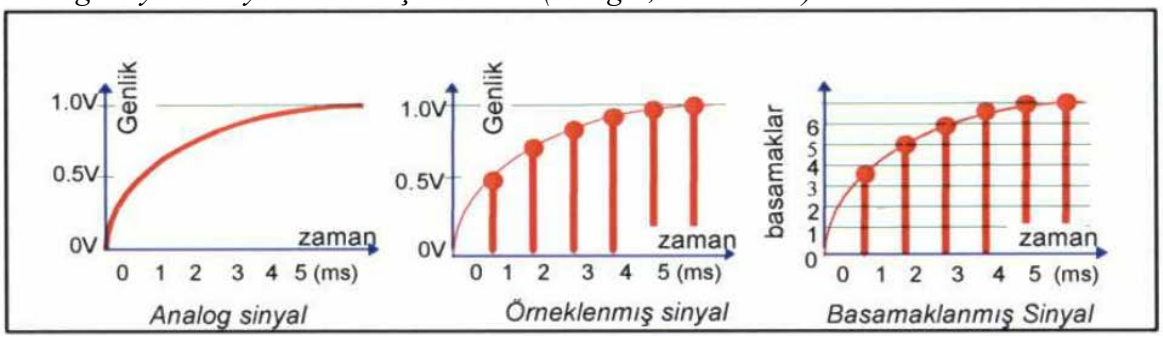
Analog sinyalin sayısal sinyale dönüşümünde örnekleme adımı (Baybars, 2017)



Sinyalin sayısala çevrilebilmesi için kullanılacak adım sayısı sınırlı olmalı ve adım sayısı her bir örnek için kullanılacak kod uzunluğu veya bit sayısı aracılığıyla belirlenmektedir. Örneğin 3 bitlik kodlama yapılacaksa 2^3=8 adım kullanılmaktadır. Basamak sayısı arttıkça, dönüştürücü çıkışındaki (Sayısal/Analog) sinyalin kalitesi de artmaktadır. Daha iyi kalitede bir sinyal elde etmek için daha fazla bit ve daha fazla basamak kullanılması gerekmektedir (Morgül, 2011: 137-138). Bu süreçler Şekil 6'da gösterilmiştir

Şekil 6

Analog Sinyalin Sayısala Dönüştürülmesi (Morgül, 2011: 138.)



Örnekleme adımından sonra kodlama adımına geçilmektedir. Kodlama yapılmaya başlamadan önce örnek genlik değeri incelenmektedir. Bu genlik değerine en yakın basamağa karşılık gelen kod iletilmektedir. Alıcıda ise bu işlemin tam tersi

gerçekleştirilmektedir. Gelen bit serileri öncelikle nicemleme (dilimleme-basamaklama) işlemi yapılarak ikili sayı formatına dönüştürüldükten sonra voltaja çevrilmektedir. Meydana gelen basamaklı voltajdan süzülme yapılarak analog bilgi tekrar oluşturulmaktadır (Morgül, 2011: 138).

2.2.2. Sayısal Yayıncılıkta Görüntü Formatları

Tüketicilerin daha büyük ekranlı televizyonlara yönelmesi ve yayıncıların daha yüksek kalitede içerik sunma arzusu, görüntü teknolojilerindeki yeniliklerin hızlanmasına neden olmuştur. Görüntü formatları bu talebi karşılamak için geliştirilmiştir. Yayıncılıkta halihazırda en fazla kullanılmakta olan görüntü formatları; görüntü çözünürlüğü, çerçeve oranı, piksel sayısı ve tarama sistemi gibi faktörlerden dayanak alarak çeşitli tekniklerde şekillenmiştir (Kala, 2012: 21).

SD (Standart Çözünürlük), sınırlı bir piksel sayısıyla daha düşük kaliteli görüntüler sunan eski bir görüntü standardıdır. HD (Yüksek Çözünürlük), Full HD ve 4K gibi teknolojiler ise, sayısal yayıncılığın yaygınlaşmasıyla birlikte daha yüksek piksel sayısı ve daha geniş renk çeşitliliği sayesinde çok daha net ve detaylı görüntüler sunmaktadır. Bu teknolojiler, özellikle büyük ekranlı televizyonlarda daha belirgin bir görüntü kalitesi farkı oluşturmaktadır.

2.2.2.1. Standart Çözünürlüklü Televizyon Sistemleri

PAL ve NTSC gibi yaygın televizyon standartları, analog yayın kalitesinde görüntü üreten standart çözünürlüklü televizyon yayını sunmaktadırlar. Standart çözünürlüklü televizyon, analog yayın sistemlerine göre biraz daha canlı renk ve daha kaliteli görüntü sunan sayısal televizyon yayın formatı olarak ifade edilmektedir. Her iki standart sayısal teknoloji ile birlikte kullanılmaktadır, yüksek çözünürlüklü ve standart çözünürlüklü görüntü formatları arasındaki temel fark görüntü kalitesindedir (O'Driscoll, 2008: 367). Standart çözünürlüklü sistem teknik olarak 4:3 görüntü oranını, geçmeli taramayı ve 4;2;0 örnekleme biçimini kullanmaktadır (Morgül, 2011: 141-142).

Standart çözünürlüklü sistem, yıllar boyunca izleyicilere oldukça kaliteli bir televizyon görüntüsü sağlamıştır. Sayısal teknolojinin gelişiminin doğal bir sonucu olan ekran genişliğinin artması ile görüntü bozulmaları gibi sorunlar ortaya çıkmıştır, bu da SDTV teknolojisinin önemini azalmasına neden olmuştur (Ibrahim, 2007: 59). Televizyon

üretici şirketler ve yayıncı kuruluşlar, yüksek çözünürlüklü sistemlere yönelik çalışmalar da olmak üzere yeni nesil televizyon teknolojilerine odaklanmıştır (Şahin, 2013: 56).

2.2.2.2. Yüksek Çözünürlüklü Televizyon Teknolojileri

1983 yılında ITU tarafından çalışmalarına başlanan yüksek çözünürlüklü televizyon tekniği geleneksel yayıncılıkta kullanılan standart çözünürlüklü televizyon tekniğine kıyasla daha kaliteli görüntü sağlamaktadır. Yüksek çözünürlüklü televizyon teknolojileri ile standart çözünürlüklü sistem arasındaki temel fark, daha fazla piksel kullanan yüksek çözünürlüklü sistemin daha çok detay içeren görüntü sunmasıdır. Bu sayede, izleyiciye daha geniş görüntü boyutları daha canlı ve net bir şekilde aktarılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü televizyon formatında çerçeve oranı değişirken, televizyon ekranları ve çözünürlükleri giderek artmakta ve gerçeğe daha yakın görüntüler elde edilmektedir. (Simpson, 2008: 65).

ITU tarafından yayınlanan ITU-R BT.709-1 tavsiye dokümanında, yüksek çözünürlük teknolojisinin kullandığı tarama yöntemleri 720p (HD), 1080i (Full HD) ve 1080p (Full HD) olarak tanımlanmıştır (p: aşamalı tarama - i: geçmeli tarama). Bununla birlikte, bahsi geçen dokümanda HD tekniği için yalnızca 16:9 çerçeve oranı belirlenmiştir (ITU-R BT.709-1, 1993). Uluslararası standardizasyon, HDTV sistemleri için seçilen 2K'den (1920x1080) daha fazla çözünürlüğe sahip sistemlere genişletilmiştir. 1995 yılında, ultra yüksek çözünürlüklü (UHDTV) formatları olarak seçilen 4K (3840x2160) ve 8K (7680x4320) dahil olmak üzere daha da yüksek çözünürlüklü görüntü formatlarını tanımlayan ilk dünya tavsiyesi ITU-R VT.1201 (ITU-R VT.1201, 2004) geliştirilmiştir.

HDTV

Renkli televizyonun bulunmasından bu zamana kadar geçen süre zarfında, yüksek çözünürlüklü televizyon sisteminin (HDTV) yayıncılığa sunulması gerçekleşen en önemli yeniliktir (Ibrahim, 2007: 59). Yüksek çözünürlüklü televizyon ortalama görme keskinliğine sahip bir insan tarafından ekranın üç katı kadar bir uzaklıktan izlendiğinde, özgün sahneden görülebilecek neredeyse tüm ayrıntıların aynı biçimde algılanabildiği televizyon sistemi olarak açıklanmaktadır (Sankur, 1998: 23). Bu sistemi gerekli kılan dört temel özellik bulunmaktadır. Bunlar; büyük ekran boyutu, daha iyi çözünürlük, daha geniş en boy oranı ve girişim etkisinin olmamasıdır (Slater, 1991: 130).

Başlangıçta HDTV'nin standartlaşmasına yönelik çalışmalarda ülkeler arasında anlaşmaya varılmamıştır. HDTV yayınlarını alamayan mevcut alıcılar için, Avrupa'da "Zaman Çoğaltmalı Analog Bileşenler" (MAC) sistemi ve Amerika'da "Gelişmiş Uyumlu Televizyon" (ACTV) sistemi gibi geçici çözümler geliştirilmiştir. Ancak sayısal teknolojilerin ilerlemesiyle birlikte, bu geçici çözümler terk edilmiş ve sayısal televizyon standartları geliştirilmiştir. HDTV'nin maliyetlerinin azaltılmasını sağlayan sayısal yayın standartları, sayısal televizyon kullanımını yaygınlaştırmıştır (Akyol, 2015: 175).

Çerçeve oranındaki değişimler, yüksek çözünürlüklü televizyon için geniş görüntü boyutuna olanak tanımıştır. Yüksek çözünürlüklü televizyon yayını kapsamında 16:9 görüntü oranı kullanılırken geleneksel sistemlerde ve standart çözünürlüklü televizyonda 4:3 çerçeve oranı tercih edilmektedir (Simpson, 2008, s. 65). İlk olarak, tüketicilere "HD Ready" özelliklerine sahip 1280x720 çözünürlüklü ekranlar sunulmuştur. Daha sonra, "Full HD" veya "2K" (1920x1080) olarak adlandırılan televizyon ekranları üretilerek günümüzde yaygın kullanılan standart HD yayın standardı olmuştur (Akyol, 2015175). HD Ready çözünürlüklü teknikte aşamalı tarama yöntemi kullanılırken Full HD teknikte aşamalı taramayla birlikte geçmeli tarama da kullanılmıştır. Full HD tekniği, HD tekniğin yükseltilmiş bir versiyonu olarak, daha yüksek piksel yoğunluğu sayesinde daha net ve detaylı görüntüler sağlamaktadır. ITU'nun HD tekniği için hazırladığı tavsiye dokümanında Full HD'nin teknik özelliklerine yer verilerek sektör genelinde uyumu desteklenmiştir.

HDTV, 16:9 (1.78) geniş ekran oranına karşılık gelen görüntü karesinin eni 16 birimken yüksekliği ise 9 birimdir. Ek olarak, daha doğru bir seyir için televizyonla aradaki izleme mesafesi ekran yüksekliğinin 3 katı kadar olmalı ve görüntü yatayda 30 derecelik bir açıyla izlenmelidir (Mozar ve Glasman, 2023: 163).

Yüksek çözünürlüklü televizyon sistemlerinde analog ses sistemlerinin yerini sayısal çevresel ses teknolojileri almıştır. Yeni standartlarda, sayısal iletim sistemi kullanılması ile birlikte iletim kaynaklı gürültü ve girişim sorunları da azalmaktadır. Tüm bu televizyon teknolojisindeki ilerlemeler, izleyicilere hem görsel hem de işitsel açıdan yüksek kalitede bir seyir deneyimi sunmaktadır (Şahin, 2013: 58). HDTV'nin görüntü özelliklerinin SDTV ile birlikte özetlenmesi Tablo 2 ile yapılmıştır.

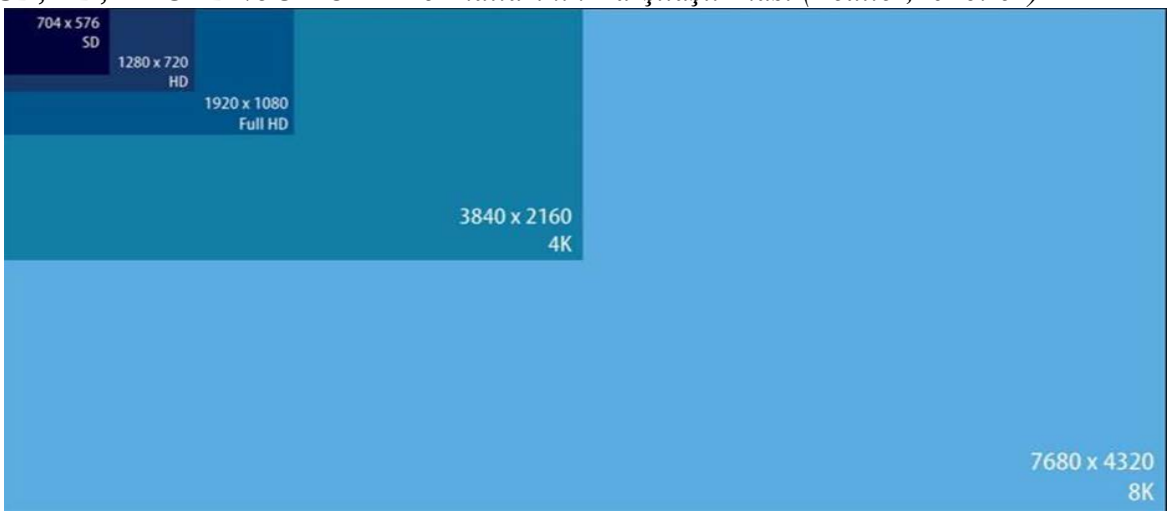
Tablo 2

SDTV ve HDTV'nin Görüntü Özellikleri (Morgül, 2011: 159)

Özellik	SD	HD
Görüntü	720x576	1280x720 1920x1080
Çözünürlüğü	720x480	
	640x480	
Çerçeve Oranı	4:3	16:9

Şekil 7

SD, HD, 4K-UHD ve 8K-UHD Formatlarının Karşılaştırması (Beutler,2016: 62)



UHDTV (4K)

Yüksek çözünürlüklü televizyon teknolojileri HDTV ile başlayıp ve ultra yüksek çözünürlüklü (UHDTV) televizyonlarla süregelmiştir. Günümüzde, UHDTV teknolojisi de yerini 4K Ultra HDTV teknolojisine bırakmaktadır. 4K içerik üretiminin UHDTV teknolojileri ile yapılması 2013 yılında başlamış olmakla beraber halihazırda sunulmaya devam etmektedir (Akyol, 2015: 186).

Ekran çözünürlüğünde 720x576 çözünürlük ile başlayarak sırasıyla 1280x720 ve 1920x1080 çözünürlükleri kullanılmıştır. Çözünürlüğün tepe noktasında 3840x2160 (4K) ve 7680x4320 (8K) çözünürlükleri bulunmaktadır. HDTV tanımlanırken "1080" yükseklik esas alınarak konulmuşken, UHDTV'lerin 4K olarak adlandırılmasında 3840 pikselin 4.000 piksele çok yakın bir değer olmasına bağlı olarak genişlik esas alınmıştır. 4K UHDTV

teknolojisi, yaygın kullanılan HDTV teknolojisine göre dört kat iyileştirilmiş kalitede görüntü sağlamaktadır. Minimum 2160 piksel çözünürlüklü Ultra HD pikselle tanımlanan 4K teknolojisi giderek yaygınlaşmıştır (Akyol, 2015: 186).

UHDTV sistemlerinin parametreleri Tavsiye ITU-R BT.2020'de verilmiştir. Aşamalı görüntü yakalama ile birlikte insan gözünün algılama sınırlarını zorlayacak şekilde; 24, 25, 30, 50, 60, 100 ve 120 Hz gibi çok çeşitli çerçeve hızları tanımlanmıştır. Üç olası örnekleme yapısı belirlenmiştir: 4:4:4, 4:2:2 ve 4:2:0. Her renk bileşeni örneği başına daha geniş bir renk kartelası ve daha ince ton geçişleri sağlayan 10 veya 12 bitlik doğrusal niceleme önerilmektedir (ITU-R BT.2020-2, 2015).

HDTV sistemi, yukarıda belirtildiği gibi, 1920 × 1080 (2K), 3 ekran yüksekliğine eşit olan izleme mesafesine dayalı ve yatay görüntüleme açısı yaklaşık 30 derece olarak geliştirilmiştir. 4K sistemi, izleme mesafesinin ekranın 1,5 katı yüksekliğine indirilmesine ve görüntünün rahatça izlenebileceği açıyı 60 dereceye kadar artırmaya olanak tanımaktadır (Mozar ve Glasman, 2023: 163).

Sayısal televizyon yayıncılığına geçiş süreci kapsamında Ultra HD televizyon yayınlarına geçiş aşamalı olarak planlanmıştır. Bu geçiş kapsamında, 4K yayınlar için yeni kodlama ve sıkıştırma tekniklerine ihtiyaç duyulmuştur. 4K ve daha yüksek çözünürlükler için HD yayınlarda kullanılmakta olan H.264/AVC kodlama teknolojisi uygun değildir. 4K ve üstü çözünürlükler için geliştirilen H.265 (HEVC, High Efficiency Video Coding- Yüksek Verimli Video Kodlama) adlı video sıkıştırma standardı, ISO/IEC, MPEG (Moving Picture Experts Group- Hareketli Görüntü Uzmanları Grubu) ve ITU-T VCEG (Video Coding Experts Group - Video Kodlama Uzmanları Grubu) gruplarının işbirliği ile sonucu olarak oluşturulmuştur. En son geliştirilen "H.265/HEVC" sıkıştırma teknolojisi UHDTV yayıncılığının gelişimi için kilit bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Demirci, 2013; Rivington, 2014).

8K TV

8K televizyon yayıncılığı, belirli standartlar (7680x4320 çözünürlük, 33.2 megapiksel ve 4320p) doğrultusunda planlanan bir ultra yüksek çözünürlüklü televizyon formatıdır. 8K yayınlar; UHDTV yayıncılığının üçüncü aşaması "UHDTV-2" ve Japon yayın firması NHK'nın "SuperHi-Vision" (SHV) yayını olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır (Akyol, 2015:193).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan HDTV yayınlarına kıyasla, 8K formatı ile yatayda 4 katı piksel ve dikeyde 4 katı piksel içererek 16 kat daha yüksek bir çözünürlük elde edilebilmektedir. 8K sistemi, izleme mesafesinin ekran yüksekliğinin dörtte üçüne indirilmesine ve yatay izleme açısının 100 dereceye kadar artırılmasına olanak tanımaktadır. Elbette bu, evde televizyon izleyenler için ilgi çekici olacaktır. 8K teknolojisinde, görüntü kalitesinin olduğu kadar ses kalitesi de aynı oranda önemlidir. Üst katmanda dokuz hoparlör, orta katmanda on hoparlör, alt katmanda üç hoparlör ile iki düşük frekans hoparlörü bulunmaktadır. Bu sayede, sesler doğal bir ortamda olduğuna benzer şekilde kapalı ortam içinde de aynı yönlerden dinlenebilmektedir (Kesim, 2012).

8K UHDTV formatının büyük ve dev ekranlarda (sinema ekranaları, konser salonlarının ekranları, spor sahalarının skor panoları vb.) gösterim için kullanılması daha da avantajlıdır. Büyük ekranlar aynı anda birkaç farklı görüntüyü görüntülemek için kullanılabilmektedir. 8K UHDTV sistemlerinin parametreleri, sinema gösteriminde en yüksek kaliteyi sağlayan IMAX sisteminin parametrelerine (çerçevenin uzunlamasına konumlandırıldığı 70 mm film) yaklaşmaktadır. Dolayısıyla, ultra yüksek çözünürlüklü TV sistemlerinin kullanımı, televizyon ve sinemanın yakınlaşmasını ve ülkenin bilgi altyapısının önemli bileşenlerine dönüşmesini teşvik etmektedir (Mozar ve Glasman, 2023: 163).

8K yayınlarının uygulanabilmesi için yeni sıkıştırma teknolojilerine ihtiyaç vardır. Bununla birlikte çok geniş ekran uygulamaları için de 8K çözünürlüğünün uygun olduğu belirtilmektedir. Kısaca özetlenirse, sinema kalitesi vaad eden 8K teknolojisinin televizyon yayıncılığı için zor bir hedef olmasına rağmen sinema ve prodüksiyon uygulamaları için güçlü imkanlar sunduğu düşünülmektedir (Akyol, 2015: 196).

3DTV

Yeni yayın standartları ve ekran teknolojileriyle birlikte, televizyon yayıncılığında üç boyutlu teknolojilerin de dikkat çektiği bir dönem görülmüştür. Sayısal teknolojilerin sağladığı avantajlarla, derinlik hissi katan üç boyutlu (3DTV, 3 Dimentional Television) televizyonlar, HDTV'lerin popüler hale gelmesinden sonra ortaya çıkmıştır. Hızla yerini yeni teknolojilere bırakmış olsa bile, üç boyutlu görüntü teknolojisi sinema sektöründe gelişimini sürdürmektedir (Akyol, 2015: 185).

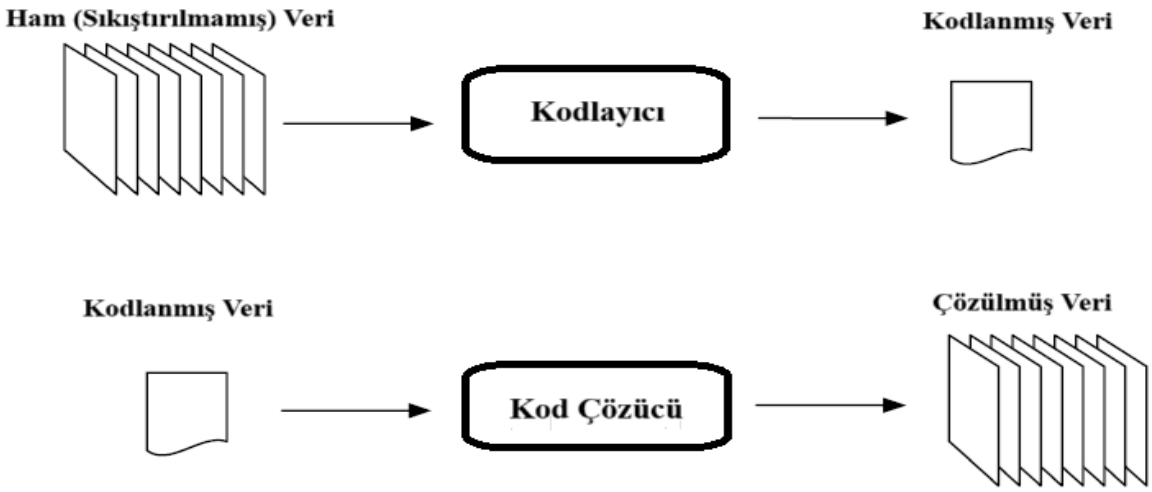
2.2.3. Kodlama Sistemleri

Sayısal yayıncılık, yüksek veri yoğunluğuna sahip olduğu için depolanması ve aktarımı maliyetli bir süreçtir. Bu nedenle, veri sıkıştırma algoritmaları ve uluslararası standartlar, depolama alanından tasarruf etmek ve iletim hızını artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Uluslararası standardizasyon kuruluşları ISO (Uluslararası Standartlar Örgütü), IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) ve ITU koordinasyonunda 1988 yılında MPEG (Hareketli Görüntü Uzmanlar Grubu) çalışma grubu söz konusu standartların geliştirilmesi amacıyla kurulmuştur. Başka bir ifadeyle MPEG, görüntü ve ses bilgilerinin sayısal teknikte blok olarak sıkıştırılmış formatta kodlanması için kullanılan uluslararası standartlar ailesine verilen addır (Angelides ve Agius, 2010: 1; Srivastava, 2002: 15).

Verinin ham, sıkıştırılmamış haliyle saklanması veya iletilmesi, büyük miktarda depolama kapasitesi ya da bant genişliği gerektirmektedir, bu da pratik olmamaktadır. Veri kodlayıcı, veriyi depolama veya iletim için uygun olan daha küçük ve daha kompakt bir form olan kodlanmış hale sıkıştırmaktadır. Kod çözücü ise bu işlemi tersine çevirerek, kodlanmış veriden görüntülenebilir ve/veya dinlenebilir veriyi elde etmektedir (Şekil 8). Kodlayıcı ve kod çözücünün tamamlayıcı ikilisi "kodek" olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 8

Verilerin Sıkıştırma ve Çözülmesine İlişkin Sistem Şeması (Richardson, 2024: 6)

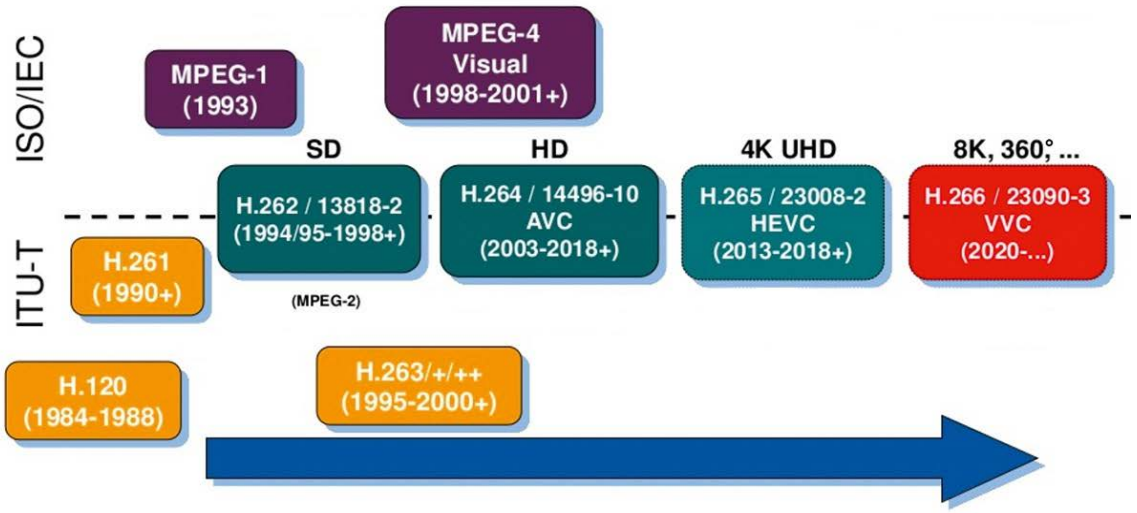


MPEG çalışma grubu bir dizi kodlama ve kod çözme standardını kapsayan multimedya bilgilerinin sıkıştırılmasını ve çözülmesini standartlaştırmıştır. Bu standartlar MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 (H.264/AVC) ve son zamanlarda H.265/HEVC olarak

bilinmektedir (Mozar ve Glasman, 2023: 98). MPEG-7 ve MPEG-21 adlı standartlar sıkıştırma standartları olmamakla birlikte sıkıştırma standartlarını işlevsel olarak desteklemek amacıyla oluşturulmuşlardır. Bu iki standart, esas olarak multimedya içeriğinin tanımlanması ve yönetimi ile ilgilidir.

Şekil 9

Kodlama Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi (Joaquín, 2020)



2.2.3.1. MPEG-1

Televizyon yayınlarında kullanılası amacıyla video sıkıştırma sistemlerinin uluslararası standardizasyonu çalışmalarının ilk sonucu 1,5 Mbit/s'ye kadar sıkıştırılmış veride görüntü ve ses kodlama sağlayan MPEG-1 standardı olmuştur. Bu standart 1993 yılında yayınlanmıştır. MPEG-1 tarafından video ve sesin kayıplı olarak sıkıştırılmasıyla düşük bit hızlarında makul kalitede görüntü ve ses üretilmektedir Böylece video ve ses CD'lerinin oynatılmasını sağlayan cihazların gelişimine katkı sağlamıştır (*ISO/IEC 11172-2, 1999*; Kefeli, 2008: 2).

Ev videosu (VHS- Video Home System) kalitesinde ses ve görüntü için, ham sayısal video ve CD sesini 26:1 video sıkıştırma oranı ve 6:1 ses sıkıştırma oranı ile 1,5 Mbit/s'ye kadar sıkıştırmak üzere tasarlanmıştır. MPEG-1'in geliştirilmesi, 1990'ların başında CD'ler, sayısal görüntü ve sayısal ses yayın hizmeti gibi bir dizi sayısal teknolojiyi hızlandırmıştır. Ses sinyallerinin sıkıştırılmasını tanımlayan MPEG-1 standardının en bilinen bölümü olan MP3 ses formatı, sayısal ses alanına öncü nitelikte bir yenilik getirmiştir. Ancak MPEG-1 standardı, televizyon yayınları için uygun bir görüntü kodlama yöntemi değildir (Mitrovic, 2012: 3-4).

2.2.3.2. MPEG-2

1994 yılında oluşturulan MPEG-2 (ITU tarafından tanımlandığı şekliyle H.222/H.262), yüksek çözünürlüklü video formatı ve çok kanallı ses formatı gibi gelişmiş özellikleri destekleyen MPEG-1'in geliştirilmiş bir sürümüdür. MPEG-2'nin ortaya çıkışı standart ve yüksek çözünürlüklü televizyon yayıncılığı için MPEG-2'yi benimseyen ilk sayısal televizyon sistemlerini, Blu-ray oynatıcıları ve DVD depolama formatını kullanıma sunmuştur (Drew ve Li, 2014:348). MPEG-2, televizyon programlarının üretimini, karasal, kablo ve uydu dağıtım hatlarını kullanan televizyon yayınlarını ve multimedya sistemlerini içermektedir (ISO/IEC 13818, 1998).

MPEG-2 standardı, MPEG-1 standardına göre hem daha yüksek bit hızlarında daha yüksek kaliteli görüntüler üretmek amacıyla hem de görüntünün daha geniş bantla iletilmesi için geliştirilmiştir. MPEG-2 standardındaki en önemli gelişme, taramalı görüntüleri desteklemek, hareket vektörünü ve tahmin modlarını tahmin etme olanaklarını genişletmektir. Veri fazlalığını, MPEG-1 standardı ile aynı olan yöntemlerle azaltmaktadır (ISO/IEC 13818, 1998; ITU-R BT.799-3, 1998). Video sıkıştırma uygulaması sırasında görüntü kalitesini sağlamak için değişik profiller kullanmaktadır (Kefeli, 2008: 2).

MPEG-1 standardı, 1,5 Mbps veri hızıyla görüntü iletirken, MPEG-2 standardı görüntü iletiminde 2-20 Mbps arasında değişken bir veri hızı kullanmaktadır. MPEG-2, daha yüksek kalitede görüntüler elde etmek için daha geniş bir bant genişliği aralığına sahip olması sayesinde önemli ölçüde bant genişliği tasarrufu sağlamıştır. Bu nedenle, noktadan noktaya iletişim ve doğrudan evlere yayın sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Durmaz, 2004:227).

MPEG standartları arasında en bilinen ve yaygın olarak kullanılan standart MPEG-2'dir. Ancak, MPEG-2 standardının internet tabanlı uygulamalarda bazı kullanım zorlukları bulunması sebebiyle ve özellikle multimedya uygulamalarında kullanılmak üzere MPEG-4 standardı geliştirilmiştir (Yaman, 2017: 247).

2.2.3.3. MPEG-4

MPEG-4 Görsel standardı 1995 yılında başlatılmış, Mart 1998'de komite taslağı statüsüne ulaşmış ve 1999 yılında da son halini almıştır. Bu standart başlangıçta çok düşük bit hızları için belirlenmiştir ancak halihazırda 5 Mbits/s'ye kadar desteklemektedir. MPEG-4, 4.800 ile 64.000 bit/s (megabit değil bit) arasında nispeten

düşük bit hızlarında 176×144 piksele kadar örnekleme boyutlarını belirtmektedir (ISO 14496-2, 2004).

MPEG-4 ile diğer tüm standartlar arasındaki temel fark, uzay ve zamanda belirli bir şekilde konumlandırılmış ayrı nesneler kullanılarak oluşturulan görüntü ve ses verisinin nesne yönelimli sunumudur. MPEG-4 başlangıçta sıkıştırılmış video verilerinin düşük oranlı sayısal akışları için tasarlanmış multimedya uygulamaları için oluşturulmuş, ancak daha sonra televizyon yayıncılığı alanına genişletilmiştir (ISO 14496-2, 2004).

MPEG-4 standardı bir bütün olarak görüntü ve ses nesnelerinin kodlanmasına dayanan yeni bir yaklaşımın başlangıcı olmuştur. Nesne bazlı kodlamayı temel alarak etkileşimli ortamlar ve konuşma tabanlı uygulamalar için tasarlanmıştır. MPEG-4'ün geliştirilme yapısı, bu standardın hem televizyon hem de web ortamlarında ardışık olarak kullanılmasına olanak tanıdığı gibi, her iki kaynaktan gelen içeriğin aynı multimedya platformunda entegrasyonunu da kolaylaştırmaktadır. Günümüzde kullanılan HDTV yayınlarının temelini oluşturan MPEG-4, etkileşimli ortam olanakları sunduğu için IPTV yayıncılığında da yaygın olarak kullanılmaktadır (*ISO/IEC 14496-2,2004;* Yaman, 2017:247).

MPEG-4 standardı;

- Nesne bazlı kodlama,
- Çok yönlü içerik desteği (gerçek görüntülerden animasyon görüntülerine kadar),
- Yüksek verimlilik ve yüksek kaliteli görüntü,
- Çeşitli etkileşim türlerine destek,
- Hem geleneksel 2 boyutlu hem de 3 boyutlu içerikler için destek,
- Geniş aralıklı bit hızı (ses için 2 kbit/sn; video için 5 kbit/sn, 64 kbit/sn, 5 Mbit/sn) ,
- Fikri mülkiyet (telif hakkı) koruma

gibi özellikleri sayesinde, MPEG-1 ve MPEG-2'ye göre daha esnek, daha güçlü ve geleceğe yönelik bir standarttır (Celal, 2024). Özellikle internet üzerinden çevrimiçi video akışı, multimedya üretimi, görüntü/ses arşivleme, tele alışveriş, mobil cihazlar, video konferans, mobil video yakalama ve çevrimiçi oyunlar gibi internet ve mobil uygulamalarda MPEG-4, tercih edilen standart haline gelmiştir (ITU-R BT.799-3, 1998). Multimedya üretimi ve iletilmesi açısından bakıldığında MPEG-4 sıkıştırma oranı yüksek, çeşitli kullanım cihazlarla rahatlıkla erişilebilip adapte edilebilecek bir sıkıştırma standardıdır. (Morgül, 2011: 173) İçeriğin kontrol edilmesini sağlaması ve multimedya üretimini kolaylaştırması ile yazılımcılar ve donanım geliştiricileri tarafından dikkate alınmaktadır (Kırık, 2015: 142).

MPEG-4 standardı, düşük bit hızlarında bile yüksek kaliteli ses ve görüntü sıkıştırma sağlayarak, yayın, genişbant ve mobil iletişim gibi çeşitli alanlarda içerik dağıtımını optimize etmektedir. Nesne tabanlı kodlama ve uyarlanabilir bit hızları gibi özellikleri sayesinde, diğer sıkıştırma yöntemlerine kıyasla daha esnek ve verimli bir çözüm sunmaktadır (Yaman, 2017: 247).

MPEG-4 araç kutusunun tamamı çok zengin ve güçlü olsa bile birçok uygulamada kullanması için tam olarak uygulanması genellikle çok pahalıdır. Bu nedenle MPEG, yetenekleri kullanışlı alt kümeler halinde gruplayan 'profiller' tanımlamıştır. Bu, standardın hem şu anda basit uygulamalar hem de gelecekte zengin web içeriği içeren uygulamalar için kullanılabileceği anlamına gelmektedir (ITU-R BT.799-3, 1998).

MPEG-7, multimedya içeriğini ve bağlamsal özelliklerini tanımlarken, MPEG-21 dijital hakların korunmasını tanımlayarak nasıl kullanacağını belirlemektedir. Bu iki standart birlikte, dijital dünyada içeriklerin daha etkin bir şekilde yönetilmesini, korunmasını ve kullanılmasını sağlamaktadır.

Tablo 3

Görüntü Kodlama Standartları Özellikleri (Paçacı, 2010)

STANDART	**UYGULAMA**	**VERİ HIZI**
MPEG-1	Düşük Çözünürlük Hareketli Resim (CD-ROM)	1.5Mb/s
MPEG-2	Yüksek Çözünürlük Hareketli Resim, Sayısal TV	>2Mb/s
MPEG-4	Etkileşimli Video, Multimedya	Değişken
MPEG-7	3 Boyutlu Resim ve Ses, Multimedya	Değişken

2.2.3.4. H-264/AVC

2001 yılında, video sıkıştırma teknolojilerindeki farklı standartları birleştirerek daha verimli bir sistem oluşturmak amacıyla ITU-T'ye bağlı Video Kodlama Uzmanları Grubu (Video Coding Experts Group - VCEG) ve ISO/IEC'e bağlı MPEG grupları bir araya gelerek Ortak Video Ekibi (Joint Video Team - JVT) grubunu kurmuşlardır. Bu birleşme, video sıkıştırma alanında önemli bir dönüm noktası olmuş ve günümüzde kullandığımız birçok video teknolojisinin temelini oluşturmuştur (VCEG, 2022).

JVT grubu tarafından geliştirilen ilk önemli standart olan H.264/AVC diğer bir adıyla MPEG-4 Bölüm 10, 2003 yılında resmî olarak kabul edilmiştir. MPEG-2 ya da MPEG-4 tarafından sunulan kaliteye sahip olan, ancak bu kaliteyi daha düşük bir bit hızı ve daha yüksek sıkıştırma oranı kullanarak, aşırı karmaşık olmadan, maliyeti daha düşük sayısal devrelerde uygulanmasını destekleyebilen bir model geliştirmesi amacıyla H.264/AVC standardı oluşturulmuştur.

H.264/AVC, düşük bit hızlarında bile yüksek görüntü kalitesini koruyarak, farklı cihaz ve ağ koşullarında aynı kalitede videoyu daha küçük dosya boyutlarına sıkıştırabilen video sıkıştırma standardıdır. Standardın; farklı ağ koşullarına ve cihaz özelliklerine uyum sağlaması, MPEG-2 ve MPEG-4'e kıyasla genişletilmiş ve hem yüksek çözünürlüklü hem de düşük çözünürlüklü sistemlerde kullanılması esnekliğine izin verilmiştir (ITU-T, 2003).

H.264, yanlış yorumlama olasılığını en aza indirmek ve uygun kodlayıcılar, kod çözücüler ve bit akışları arasında güvenilir uyumluluk sağlamak amacıyla önceki standartlara göre daha fazla teknik ayrıntıyla hazırlanmıştır. Ayrıntılı sıkıştırma işlemlerinde 20'den fazla yeni teknik kullanılmış ve birçok durumda diğer standartlardan daha iyi performans sağlanmıştır. MPEG-2'de kullanılan bit oranının yarısından daha azıyla aynı kalitede görüntü elde edilmesine olanak tanımıştır (Luthra vd., 2003).

MPEG-2'de olduğu gibi H-264 de mobil uygulamalardan video konferansa ve HDTV sistemlerinde olduğu gibi görüntülerin yüksek çözünürlükte gösterilmesi gibi daha yüksek işlem gücü gerektiren uygulamalara kadar çeşitli kullanımlar için çeşitli profil seviyeleri belirlenmiştir. Televizyon yayınlarının (özellikle yüksek çözünürlüklü) uydulardan evlere doğrudan yayını, sayısal karasal televizyon yayını ve görüntülerin internet üzerinden dağıtımı gibi birçok uygulama bu standardı benimsemiştir (Views, 2024). Televizyon yayıncılığının yanı sıra Blue-ray diskler ile CD-DVD de görüntülerin kaydedilmesi, geniş bant internet ve RTP/IP paketleri gibi çeşitli alanlarda bu standart kullanılmaktadır (Wenger vd, 2011).

ITU-T, 2003'te ilk yayın tarihinden bu yana standardın çeşitli sürümlerini yayınlamıştır ve sonraki sürümler daha yüksek kaliteli video, ölçeklenebilir video kodlama ve çoklu görünüm video kodlama desteği eklenmiştir. Yayınlandığı ilk günden bugüne kadar 20 yıldan fazla geçmesine rağmen, H.264/AVC akış, depolama ve yayıncılık dahil olmak üzere birçok uygulama alanında en yaygın kullanılan video kodlama standardı olmaya devam etmektedir (ISO 14496-2, 2004).

2.2.3.5. H.265/HEVC

H.264/AVC'nin başarısının ardından, daha gelişmiş bir standart olan H.265/HEVC (Yüksek Verimli Video Kodlama-HEVC) üzerinde çalışmaya başlanmıştır. H.265/HEVC, 2010-2013 yılları arasında ISO/IEC MPEG ve ITU-T VCEG ortak komitesi olan JCT-VC (Geleneksel Video Kodlama Ekibi) tarafından geliştirilmiş ve 2013 yılında ISO/IEC ve ITU-T tarafından ortaklaşa yayınlanmıştır (HEVC, 2019; Sullivan vd., 2012; Sullivan ve Ohm, 2013).

H.265, daha iyi sıkıştırma verimliliği sağlamak, tüketici elektroniği cihazlarının kapasitesindeki gelişmeden yararlanmak ve H.264'ün yayınlanmasından bu yana ortaya çıkan kullanım durumlarını desteklemek amacıyla H.264'ün halefi olarak tasarlanmıştır (Richardson, 2024: 61). H.265'in geliştirilmesinin ardında iki temel faktör bulunmaktadır (Li vd., 2021: 448):

(a) Sürekli artan video çözünürlükleri (örneğin, 8K UHDTV'de 7680×4320) nedeniyle kodlama verimliliğini daha da artırma ihtiyacı.

(b) Daha karmaşık kodlama/çözme yöntemlerini, giderek daha fazla kullanılabilir hale gelen işlemci cihazları ve algoritmalarını kullanarak hızlandırma gereksinimi.

İlk hedef, aynı görüntü kalitesi baz alınarak H.264'ün yarısından daha fazla sıkıştırma oranına ulaşılmasıyla başarılmıştır. Yarıdan fazla artan kapasiteyle birlikte MPEG-4'te HD yayın için gereken 6 Mbps bit hızı, HEVC ile 3 Mbps'e kadar düşürülebilmektedir (EBU, 2016: 7). H.265/HEVC, H.264/AVC'ye göre yüksek sıkıştırma oranıyla daha küçük dosya boyutları sunarak, 4K ve 8K gibi yüksek çözünürlüklü video içeriklerinin yüksek görüntü kalitesinde daha verimli bir şekilde kodlanmasını sağlamıştır (Li vd., 2021: 448).

HEVC, video kodlama verimliliğini önemli ölçüde artıran bir standarttır. Daha büyük blok boyutları, gelişmiş hareket tahmini ve sıkıştırma modları sayesinde, yüksek sıkıştırma oranları elde edilmektedir. Bu, 2 Mbps gibi düşük bit hızlarına inildiğinde bile yüksek kaliteli HD video akışları sunmayı mümkün kılmaktadır. 8 MHz bant genişliğinde, 256 QAM modülasyonu ile elde edilen 40 Mbps'lik kapasite, frekans planlaması ve diğer sistem parametrelerine bağlı olarak, 14 kanala kadar HD kanalın veya 60 kanala kadar SD kanalın iletilmesine olanak tanımaktadır (Ofcom, 2014: 28).

H.265 donanım desteği artık yerleşik olarak birçok tüketici elektroniği cihazında bulunmaktadır (Richardson, 2024: 61). Mobil cihazlardaki ve televizyonlardaki entegre devreler gibi tüketici elektroniği yonga setleri genellikle eski standartlar (H.264/AVC gibi) ve daha yeni standartlar (H.265/HEVC gibi) birlikte kullanarak birden fazla video kodlama

standardını desteklemektedir. Uyarlanabilir akış çerçeveleri, çoğu tüketici cihazında desteklenmesi muhtemel olan düşük bit hızlı akışlar için kodek olarak H.264/AVC'nin kullanılmasını mümkün kılabilse de bant genişliğinin önemli olduğu durumlarda ve/veya daha yüksek çözünürlüklü aktarım için H.265/HEVC gibi daha verimli olan format kullanılmaktadır (Richardson, 2024: 62).

2.2.3.6. H.266/VVC

Video kodlama teknolojisi, son yıllarda önemli gelişmeler kaydetmiştir. ITU-T Video Kodlama Uzmanları Grubu (VCEG) ve ISO/IEC MPEG uzmanları tarafından yürütülen çalışmalar, H.265 (HEVC) standardının geliştirilmesiyle başlamış ve bu alandaki araştırmaları daha da ileriye taşıyarak H.266 (VVC: Çok Yönlü Video Kodlama) standardının oluşturulmasına kadar uzanmıştır.

ITU-T Video Kodlama Uzmanları Grubu'nun (VCEG) Ortak Video Keşif Ekibi (JVET), H.265 (HEVC) Sürüm 1'in tamamlanmasından 2 yıl sonra, 2015 yılında kurulmuştur. O zamandan beri, VCEG ve MPEG uzmanları, yeni nesil video kodlama standardı için kodlama verimliliği kapsamında yaşanacak önemli gelişmeleri işbirliği içinde araştırmaktadır (Chen vd., 2019). Bu araştırmalar, video kodlama alanında gelecekteki standartlaştırma eylemleri için aday teknolojilerin keşfi üzerine de yoğunlaşmıştır. VCEG ve MPEG'i Ekim 2017'de MPEG-I Bölüm 3 ya da H.266/VVC (Çok Yönlü Video Kodlama) adı verilen yeni bir video kodlama standardı için resmi olarak teklif çağrısında bulunmuştur ve H.266 standardı 2020 yılında son halini almıştır. H.266 standardının tamamlanmasıyla birlikte, JVET'in kapsamı, H.264/AVC ve H.265/HEVC gibi diğer mevcut ortaklaşa geliştirilen video sıkıştırma algoritmalarını ve potansiyel gelecekteki video kodlama standartlaştırma çalışmaları için aday teknolojilerin keşfini de içerecek şekilde genişletilmiştir. Bu süreç, video kodlama teknolojisinin sürekli evrimini ve bu alandaki yeniliklerin sürdürülebilirliğini göstermektedir (Li vd., 2021: 449).

Yeni standart standart dinamik aralıklı (SDR) video, yüksek dinamik aralıklı (HDR) video, 360◦ video ve diğer yeni video formatları (örn. panoramik format) için uygun olacak şekilde planlanmıştır. H.266, her örnek için 10 ila 16 bit ile birlikte geniş renk gamı olan 16K'ya kadar UHD videoları desteklemektedir.

H.266'nın geliştirilmesi, video kodlama verimliliğinde önemli bir atılım olarak görülmekte ve bu yeni algoritma, aynı algısal kalite için artan maliyet pahasına öncüllerinden (H.265'e göre %50'ye varan) daha fazla sıkıştırma sağlayarak bant genişliği kullanımını

önemli ölçüde azaltmayı ve kullanım senaryoları için daha fazla destek eklemeyi hedeflemektedir (VVC, 2020).

Mevcut durumda, bu gelişmiş sıkıştırma tekniği, kodlayıcı ve kod çözücü tarafında hesaplama karmaşıklığını artırmaktadır. Bu nedenle, VCEG ve MPEG, bu karmaşıklığı azaltmak için sürekli çalışmalar yapmaktadır. Ayrıca, video kodlama süreçlerinde derin öğrenme teknolojilerinin entegrasyonu, bu alandaki araştırmaların önemli bir odak noktası haline gelmiştir. Bu teknolojiler, video kodlama algoritmalarının verimliliğini ve performansını artırmada büyük bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.

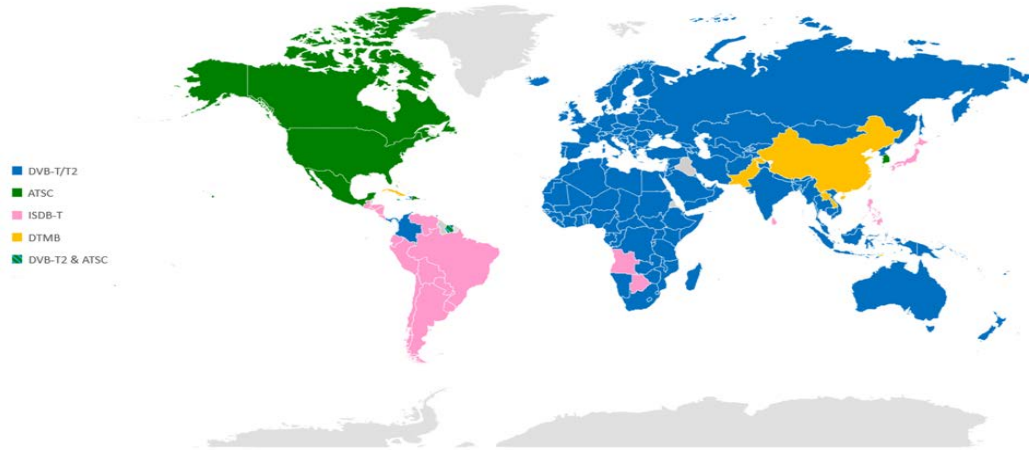
2024 yılı itibariyle, yonga seti üreticileri H.266/VVC için donanım desteğini, yani tüketici cihazlarına entegre edilebilen dahili donanım kod çözme özelliğini duyurmaya başlamıştır. VVC piyasada popüler hale gelirse, H.264 ve H.265 gibi daha önceki kodeklerle ve diğer formatlarla birlikte gelecek nesil cihazlara kademeli olarak eklenmesi beklenmektedir (Richardson, 2024: 62).

2.2.4. Sayısal Yayıncılık Standartları

Sayısal televizyon yayınlarına yönelik uygulama senaryoları çok benzer olmasına rağmen, farklı uluslararası organizasyonlar tarafından sayısal yayıncılık sistemleri için çeşitli iletim standartları önerilmiştir. Bu organizasyonlar ve standartlara örnek verilecek olursa; Amerika Birleşik Devletleri tarafından ATSC (Advanced Television System Commitee), “Digital Video Broadcasting” organizasyonu tarafından DVB, Japonya tarafından ISDB (Intragated Services Digital Network) ve Çin tarafından DTMB (Sayısal Karasal Televizyon Multimedya Yayıncılığı) sağlanmıştır. Belirtilmiş olan standartların tamamı ITU tarafından kabul edilmiştir ve halihazırda dünya çapında birçok ülke ve bölgede kullanılmaktadır (Farias vd., 2008; Resende, 2004).

Şekil 10

Sayısal Karasal Televizyon standartlarının dağılımı (DVB, 2024)



Sistemler arasındaki benzerlikler, bugün kullanılan aynı frekans bandını korumaları, dikey ve yatay özel çözünürlükleri iyileştirmeleri, renklerin temsilini iyileştirmeleri, sinema formatına yaklaşmak için 16:9 en boy oranı sunmaları (analogda 4:3 en boy oranı kullanılmakta), yüksek doğrulukta çok kanallı ses ve veri iletimini desteklemeleridir (Tude, 2006).

2.2.4.1. DVB

Avrupa sayısal televizyon standardı olan DVB (Digital Video Broadcasting - Dijital Video Yayıncılığı), 40 ülkeden 300'den fazla üye ile, standart ile aynı adlı konsorsiyum tarafından başlatılmıştır. Bu üyeler arasında cihaz üreticileri, ağ operatörleri, yazılım geliştiricileri ve 35 ülkenin düzenleme otoriteleri bulunmaktadır. Avrupa Birliği, Avustralya, Yeni Zelanda, Malezya, Hong Kong, Singapur, Hindistan ve Güney Afrika'da ve Türkiye'nin de arasında olduğu 100'den fazla ülkede kabul edilmiştir.(DVB, 2024). DVB projesi, farklı iletim ortamları (örneğin, koaksiyel kablo, uydu ve karasal) kullanan sayısal video yayıncılığı sistemleri için bir dizi standart çerçeve (DVB-C, DVB-S ve DVB-T) sağlamaktadır ve dünya çapında kabul edilen 60'tan fazla sayısal televizyon yayıncılığı standardını duyurmuştur. Bu standartlar yayın, iletim, kodlama, donanım ve ara yazılım ile ilgili bir dizi belgeden oluşmaktadır. Ek olarak tümü hem Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI) hem de ITU tarafından benimsenmiştir (Hart, 2004: 181).

DVB-S

Sayısal teknikle yapılan uydu yayıncılığı DVB-S (*Digital Video Broadcasting Satellite*) adı ile 1995 yılı itibarıyla standardize edilmiştir.

2005'te tanıtılan ikinci nesil DVB-S2, %30 daha verimli olup, özellikle HD yayınlar için geliştirilmiştir. MPEG-2 yerine MPEG-4 sıkıştırma tekniği kullanarak Full HD ve HD yayınları desteklemektedir (Can, 2006; Coşar, 2008).

DVB-S, daha önce bir PAL programı sunan bir analog televizyon kanalının artık dört sayısal programını destekleyebildiği uydu sayısal yayını için iletim standardıdır ve uydu yayın sisteminin verimliliğini büyük ölçüde artırmaktadır. H.264/AVC ve H.265/HEV sıkıştırma standartlarını kullanarak izleyicilere HDTV ve UHD TV yayınları verimli bir şekilde ulaştırılmaktadır (Song vd., 2015:8).

DVB-C:

1994 yılının sonunda oluşturulan DVB-C (*Digital Video Broadcasting - Cable*) sayısal kablolu yayıncılığı sağlayan bir standarttır. DVB-C, daha önce bir PAL programı ileten bir analog televizyon kanalının artık dört ila altı sayısal karasal televizyon programı sağlayabildiği kablo ortamından iletilen televizyon ağı için oluşturulmuştur (Köse, 2011: 89).

Analog kablo yayınlarının sayısallaşmasıyla, kanal sayısı 4-8 kat artırılarak etkileşimli ve normal yayınlar dağıtılmaktadır. Bu yayınlar, özel kod çözücü cihazlar ile izlenmektedir. Avrupa'da birçok ülkede analog kablolu yayınlar sonlandırılarak yerini sayısal kablolu yayıncılık (DVB-C) almıştır. DVB-C, DVB-S' ye kıyasla Avrupa'da daha fazla tercih edilmektedir (Köse, 2011: 89).

DVB-T:

Sayısal yayıncılığın en çok öne çıkan iletim şekli olan karasal sayısal yayının ortaya çıkan gereksinimleri karşılamak amacıyla televizyon standardı DVB-T (terrestrial) geliştirilmiştir ve geliştirilmektedir. İlk versiyon olan DVB-T güncellenerek 2008 yılında HDTV yayınları da içeren ikinci nesil standart DVB-T2 oluşturulmuştur. DVB-T2 standardı, H.264 video sıkıştırma formatını kullanarak, önceki standarda göre %30 daha fazla veri iletebilme kapasitesine sahiptir ve bir verici üzerinden 6-24 program iletilebilmektedir (Morgül, 2011: 239). Başlangıçta taşınabilir el cihazları için optimal olmasa da, DVB-T2 mobil ortamlar için de tanımlamalar içermektedir (Penttinen, 2015: 540).

DVB-T çeşitli ülkelerin farklı ihtiyaçlarını karşılamak üzere geliştirilmiştir ve bu nedenle ayar modları açısından esnek bir standarttır (toplam 126 olası ayar). Yayın sistemi 6, 7 veya 8 MHz'lik kanallarda, COFDM çoğullama ile, 1705 taşıyıcı (2K sistemi) veya 6817 taşıyıcı (8K sistemi) ile çalışır ve yayın oranları 5 ila 31.7 Mbit/s arasında değişebilir. DVB-T üzerinde SDTV yayını, aynı karasal bant genişliği üzerinde altı programa kadar eşzamanlı yayına izin verir. Kanal kodlaması, kanalın yayın sinyali üzerindeki etkisini azaltmak ve böylece hata sayısını azaltmak için yapılır (Alencar, 2002).

DVB-T, iletim için kodlanmış ortogonal frekans bölmeli çoğullama (COFDM) teknolojisini kullanan çok taşıyıcılı bir sistemdir. ATSC ile karşılaştırıldığında DVB-T, karışık bir iletim ortamında spektrum ve güç verimlilikleri açısından çok az masrafla hem sabit hem de mobil alımı etkili bir şekilde destekleyebilmektedir. Bununla birlikte tek frekans ağı (SFN) uygulamasını iyi bir şekilde uygulamaktadır. Günümüzde 60'tan fazla ülke resmi olarak karasal sayısal televizyon iletim planı olarak DVB-T'yi belirlemiştir (Song vd., 2015:8).

2.2.4.2. ATSC

ATSC (Advanced Television System Commitee – Gelişmiş Televizyon Sistemleri Kurulu) standardı 1990'ların başında, günümüzde HDTV olarak bilinen format için bir spesifikasyon geliştirmek üzere bir araya gelen elektronik ve telekomünikasyon şirketlerinden oluşan bir konsorsiyum olan Grand Alliance tarafından geliştirilmiştir. Sayısal televizyon için Amerikan standardı ATSC (Advanced Television Systems Comitee) karasal, kablo ve uydu ortamları üzerinden sayısal televizyon yayını iletimi için oluşturulmuş standartlar setidir. ATSC; HDTV, SDTV, veri iletimi, çok kanallı ses ve doğrudan eve yayıncılığı (DTH: Direct to home) kapsamaktadır (Mozar ve Glasmann, 2016: 324).

Kanada, Güney Kore, El Salvador, Dominik Cumhuriyeti, Porto Riko ve Meksika dahil olmak üzere birçok ülke tarafından kabul edilmiştir. ATSC, yayın, iletim, kodlama ve ara yazılımla ilgili olanlar da dahil olmak üzere benimsenen standartları tanımlayan bir dizi belgeden oluşmaktadır (Richer vd., 2006). Bu standart, çok kanallı ses kaynağı kodlaması için Dolby AC-3 standardını ve video kaynağı kodlaması, sistem bilgisi ve çoğullama için MPEG-2 standardını içermektedir. H.264/AVC video kodlaması, 2008'de ATSC sistemine tanıtılarak revize edilmiştir (Atkin, 2015).

ATSC 3.0 sürümüyle birlikte H.265/HEVC kodlaması seçilerek 4K görüntü desteği sağlanmıştır ve 8K görüntü desteği hedeflenmiştir. Ayrıca hem iç hem de dış mekanlarda;

mobil/taşınabilir cihazlar, araç cihazları ve sabit cihazların tümüne yayın verilmesi de hedeflenmiştir. Yayın(broadcast)/geniş bant dağıtımının hibrit entegrasyonu, yayıncılar için gerekli bir özelliktir (Atkin, 2015)

ATSC/8VSB; sistem bant genişliği 6 MHz olduğunda 8-VSB olarak modüle edilerek 19,39 Mbps aktarım hızına sahip karasal yayın için tek taşıyıcılı bir sistemi tanımlamaktadır. ATSC/16VSB, toplam 38.78 Mbps'lik bir veri akışına sahip sayısal kablo televizyon sistemleri için geliştirilmiş bir standarttır (Song vd., 2015: 11).

2.2.4.3. ISDB

Japon otoritesi ses, komut ve televizyon sinyallerinin sayısal yayınını gerçekleştirmek için kendi sayısal televizyon yayın standartları ISDB'yi (Integrated Services Digital Broadcasting – Bütünleştirilmiş Sayısal Yayıncılık Hizmeti) geliştirmeye başlamıştır. Kaynak kodlama ve sistem bilgisi standardı olarak MPEG-2'nin kullanıldığı. Japon standardı ISDB'nin alt standartları ISDB-S (uydu), ISDB-T (karasal) ve ISDB-C (kablo) şeklindedir. ISDB Japonya, Filipinler, Maldivler, Sri Lanka ve Güney Amerika ülkelerinde kabul edilmiştir (Köse, 2011: 89).

ISDB-T temel özellikleri olarak; HDTV iletimi, SDTV iletimi, mobil cihazlar için LDTV (Düşük Çözünürlüklü Televizyon) iletimi, yüksek kaliteli ses/görüntü iletimi, sabit görüntüler ve verilerin yanı sıra mobil/taşınabilir cihazlar için sayısal televizyon programı aktarımı sağlamaktadır. HDTV'nin yalnızca sabit alıcılara değil, aynı zamanda düşük görüntü çözünürlüğüne sahip mobil, kablosuz alıcılara sahip kullanıcılar için de erişilebilir olmasını mümkün kılmıştır. ISDB-T bu nedenle birçok ortam için çeşitli modlardan oluşan bir kümedir. (Asami ve Sasaki, 2006, Takada ve Saito, 2006).

ISDB-T; 3,65 ile 23,23 Mbit/s arasında değişen bir iletim hızına ulaşmaktadır. Standardın geliştiricileri de 6 MHz frekans bandında hem karasal hem de mobil TV programlarını sunmak amacıyla 13 segmentten oluşan frekans bölümlendirmesini kullanırken modülasyon şeması olarak da COFDM'yi seçmişlerdir. Başka bir şekilde ifade edilirse, geniş bant ve dar bant bilgileri aynı tesis kullanılarak ve aynı kapsama alanı için aynı kanal içerisinde iletilmektedir bu da taşınabilir cihazlar tarafından mobil alımı büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Bu hibrit iletim planının mobil televizyon kullanıcılarını desteklemek açısından büyük bir başarıya ulaşmıştır (Luo, 2011:13).

ISDB-T Japonya, Filipinler, Maldivler, Sri Lanka ve Güney Amerika ülkelerinde kabul edilmiştir. 2009 yılında Brezilya ile Japonya işbirliğiyle ISDB-T Intenetional standardı geliştirilmiştir.

2.2.4.4. DTMB

DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast – Sayısal Karasal Multimedya Yayıncılığı), Çin ulusal sayısal televizyon yayın standardı, Çin Halk Cumhuriyeti Standardizasyon İdaresi tarafından onaylanmış olup 2006'da duyurulmuştur (China Standard, 2006). DTMB; HDTV, SDTV kalitesinde yayınların yanı sıra multimedya veri yayını gibi yayıncılık hizmetlerinin çeşitli gereksinimlerini karşılamaktadır. Ek olarak geniş kapsama alanı sağlamakta ve hem sabit hem de mobil alımı desteklemektedir. DTMB, zaman alanı senkronize OFDM (TDS-OFDM) adı verilen benzersiz bir çerçeve yapısıyla hem tek hem de çok taşıyıcılı modülasyonu uygulamaktadır. Bu nedenle hızlı sistem senkronizasyonu, daha iyi alım hassasiyeti ve çok yollu etkiye karşı iyi bir sistem performansının yanı sıra gelecekteki genişleme için yüksek spektrum verimliliği ve esneklik avantajı sağlayabilmektedir. DTMB'nin Çin'deki geniş çapta kullanıma alınması 2008 yılında başlamıştır. DTMB, 2011'de ITU standardı haline gelmiştir (Ong vd., 2010).

2.2.5. Sayısal Yayın İletim Ortamları

2.2.5.1. Uydu Ortamı

İlk uydu 1957 yılında Dünya'nın yörüngesine yerleştirildiğinden beri, uydu ağları küresel iletişimin temel dayanaklarından biri haline gelmiştir. Günümüzde binlerce uydu çeşitli yörüngelerde dönmektedir. Bunlar Dünya'nın gözlemlenmesinden, çeşitli türlerde iletişime, navigasyondan hava durumunun izlenmesine ya da araştırma yapılmasına kadar pek çok farklı amaç için kullanılmaktadır. Haberleşme görevleri arasında yayın hizmetleri sağlamak da en önemli kullanım alanlarından biridir (Beutler, 2016: 17).

INTELSAT (Uluslararası Telekomünikasyon Uydu Örgütü) tarafından 1965'te Early Bird adı verilen ilk haberleşme uydusu uzaya fırlatılmıştır. Early Bird, uydu iletişimi tarihinde bir dönüm noktası olmuştur. Özellikle, renkli televizyon yayınlarının ilk kez uydu üzerinden yapılması bu uydu sayesinde gerçekleşmiştir. Bu olay, uydu iletişiminin sadece sesli iletişim değil, aynı zamanda görsel iletişim için de kullanılabileceğini göstermiştir (Akar, 2017: 19).

Uydu yayıncılığı, dünya yörüngesinde bulunan jeostatik uydular aracılığıyla televizyon, radyo ve diğer medya içeriklerinin geniş bir coğrafi alan içerisinde kullanıcılara dağıtılmasıdır. Jeostatik yörüngede bulunan bir uydu, dünyanın aynı bölgesi üzerinde sabit bir pozisyonda kalır, bu da sinyallerin sürekli ve kesintisiz olarak iletilmesini sağlamaktadır (Beutler, 2016: 18).

Uydu ortamından iletim yoluyla bir televizyon hizmeti sağlamak için televizyon programlarını taşıyan sinyal, uydu uplink tesisine (yer istasyonundan uydu istasyonuna) gönderilmektedir. Çok büyük bir uydu uplink çanağı (çanak çapları 9 ila 12 m arasında) aracılığıyla, gönderilen sinyal güçlendirilip belirli bir frekans aralığı kullanılarak yörüngedeki uyduya iletilmektedir. Büyük uydu çanakları, uydu alıcı antenlerine ulaşmak için daha doğru hedeflemeye olanak tanımaktadır. Ek olarak çanak çapının artmasıyla anten kazancı da artmaktadır. Bu da uyduda yeterince yüksek sinyal seviyelerine ulaşılmasını sağlamaktadır (Beutler, 2016: 18).

Güçlendirilmiş sinyal uydu tarafından tekrar dünyaya yayılmaktadır. Kullanıcılardaki uydu antenleri bu sinyalleri yakalamakta ve uydu alıcısı set üstü kutular sayesinde televizyon ekranına yansıtılmaktadır. Özetle uydu yayıncılığı, Doğrudan Yayın Uyduları (ing: Direct Broadcast Satellite – DBS) adı verilen yöntem ile televizyon sinyallerinin yer istasyonlarından yüksek yörüngelerdeki uydulara gönderilmesi ve daha sonra bu sinyallerin geri yeryüzüne yönlendirilmesi prensibine dayanmaktadır (Morgül ve Ataman, 1997: 5; Morgül,2011: 243).

Karasal yayıncılıkta kullanılmakta olan yayın linkleri ve vericiler yerine uydu antenleri ve set üstü kutular kullanıldığı için yayın kalitesi ve frekans ile ilgili problemler genellikle görülmez (Yaman, 2017: 250).

Uyduların yeryüzü üzerinde kapsama alanın çok geniş olmasına bağlı olarak yayın sinyalleri kolaylıkla geniş bir alana ulaşmaktadır. Böylece (Eraslan, 2006: 47). Karasal yayıncılığın kapsama alanı dışında kalan bölgeler, uydu yayıncılığı sayesinde kolaylıkla yayın alma imkânına sahip olmaktadır. Uydu aracılığıyla televizyon yayını yapılmasının temel amacı, karasal vericilerle ulaşılamayan yerlere yayınların iletilmesini sağlamaktır. Özellikle kırsal bölgelerde veya karasal ve kablo yayın altyapısının yetersiz olduğu yerlerde, uydu yayınları neredeyse tek seçenek olarak önemli bir avantaj sunmaktadır. Kentsel bölgelerde karasal ve kablo yayınlarına erişilebilse de, uydu yayınları sunduğu üstün görüntü kalitesi ve teknik avantajlarla güçlü bir alternatif olarak konumlanmaktadır (Şeker, 2009: 55).

2.2.5.2. Kablo Ortamı

Televizyon yayını ileten kablo şebekeleri geçen yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkmıştır. Geleneksel olarak, yayınları ve etkileşimli sistemleri tek bir kaynakta birleştirerek fiber optik ya da koaksiyel kablolarla birçok alıcıya aynı anda yüksek görüntü ve ses kalitesinde içerik sağlayan yayın ağlarıdır (Avcı, 2012: 72).

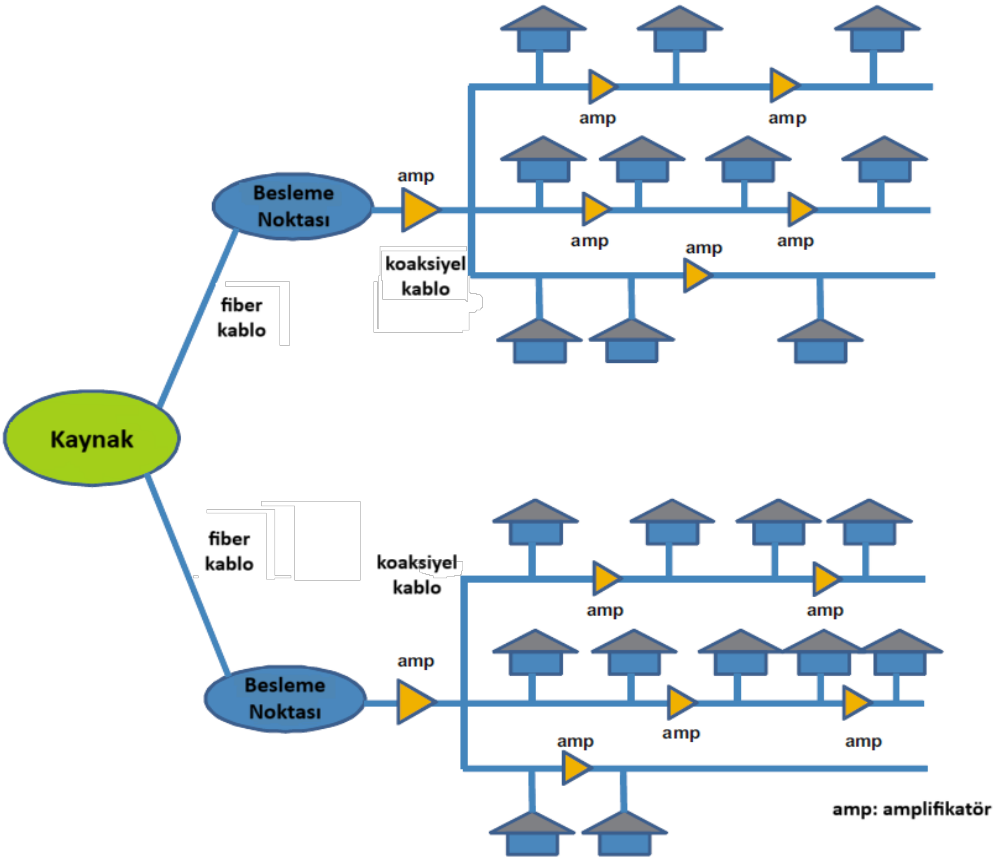
Kablolu yayınlara ait vericilerden gelen yüksek frekanslı sinyaller, bir birleştirme devresinde toplanarak geniş bantlı bir kuvvetlendirici ile güçlendirilmekte ve ardından kablolara iletilmektedir. Anten işlevi olan bu kablolar, kullanıcılardaki televizyon alıcılarına bağlanarak yayınların tipik antenden alınıyormuş gibi izlenmesini sağlamaktadır (Morgül ve Ataman, 1997:6). Kablo dağıtımında, karasal ağların radyo frekans sinyallerinin havada yayılmasından farklı olarak sinyalleri kablolar aracılığıyla yol almaktadır.

Televizyon yayınları, baş uçtan abonelerin yerleşim alanlarının yakınında bulunan yerel besleme noktalarına gönderilmektedir. Yerel merkez ve besleme noktaları arasındaki bağlantı günümüzde farklı besleme noktalarında fiberden koaksiyele dönüşüm gerektiren fiber bağlantılar ile uygulanmaktadır. Koaksiyele değiştirilen kablolar kullanıcılara gitmektedir. Buna hibrit fiber-koaksiyel kablolu televizyon sistemi denir. İzleyicilere, daha fazla kanal kapasitesi sunan bu sistem, aynı zamanda güçlü ve esnek bir yapı sağlamaktadır. Sayısal yayıncılığın gelişmesiyle birlikte hizmet alanı genişlerken, internet teknolojisini kullanarak çift yönlü iletişime, daha fazla seçeneğe ve daha hızlı interaktif uygulamalara da sahip olmaktadır (Srivastava, 2002: 28). Kullanıcılara geleneksel televizyon yayınıyla birlikte etkileşimli servisler, isteğe bağlı içerik ve internet erişimi gibi hizmetler sunmaktadır (Ibrahim, 2007: 504).

Ana kablo hattı bir mahalledeki birkaç haneyi birbirine bağlamak için bir gerektiği sıklıkta bölünmektedir. Kablo her bölündüğünde toplam sinyal gücü sonraki tüm bağlantılara eşit olarak dağıtılmaktadır ve bu eşitliği sağlamak için tekrarlanan amplifikasyon gerekmektedir. Böylece sinyal-gürültü oranı, sinyal alım kalitesi ciddi şekilde düşürecektir. Kablo şebekesi operatörü, genel şebeke düzenini daha karmaşık hale getiren birkaç besleme noktası kurmak zorundadır. Şekil 11, klasik bir kablo şebekesinin yapısını görselleştirmektedir (Beutler, 2016: 16).

Şekil 11

Hibrit fiber-koaksiyel kablo ağının topolojisi (Beutler, 2016: 17)



Kablolu yayın, sinyalin doğrudan kullanıcının evine kadar kablolarla taşınması sayesinde hava koşullarından, diğer elektronik cihazlardan kaynaklanan parazitlerden ve dış müdahalelerden daha az etkilenmektedir. Bu durum, daha kararlı, parazitsiz ve kesintisiz bir yayın deneyimi sunmaktadır (Avcı, 2012: 74; Kırık, 2010: 37-38).

Kablolu yayın ağlarını karasal yayın ağlarından ayıran bazı unsurlar vardır. Her şeyden önce, kablolu televizyon abonelik tabanlıdır. Kullanıcılar ancak belirli hizmet paketlerine abone olurlarsa hizmetlere erişebilmektedir. Dolayısıyla, kablo ağlarında ücretsiz yayın dağıtımı diye bir şey yoktur. Bu şekilde kablo şebekesi operatörü sadece kablo şebekesi altyapısını değil aynı zamanda alıcıyı da kontrol etmektedir (Beutler, 2016: 17).

2.2.5.3. Karasal Ortam

Tarihsel olarak, karasal iletim ağı radyo ve televizyon programlarını dağıtmak için inşa edilen ilk ağlardır. Karasal ağlar, ses ve/veya-görüntüyü taşıyan uygun bir frekans, bant genişliği ve modülasyon şeması kullanarak bir radyo frekans dalgalarını ileten bir dizi

vericiden oluşmaktadır. Uzak bir konumdaki bir kullanıcı, yüksek bir noktada konumlanmış VHF/UHF frekans bantlarını kullanan vericilerden gönderilen karasal sayısal yayın sinyalini uygun bir antenin takılı olduğu ilgili bir alıcı (başlangıçta set üstü kutular, günümüzde televizyona entegre alıcılar) vasıtasıyla alabilmektedir (Paçacı, 2010: 74).

Karasal televizyon yayınları 1920'lerin sonunda hem ABD'de hem de Avrupa'da başlamıştır. Yirminci yüzyılın sonuna kadar karasal yayıncılık, analog teknik ile yapılsa da daha sonra yeni iletim teknolojisi olan sayısal iletim ile sağlanmıştır. Analog karasal yayıncılıktan sayısal karasal yayıncılığa geçiş küresel bir eğilimdir. Avrupa'daki çoğu ülkenin yanı sıra ABD, Kore ve Japonya sayısal karasal yayıncılığa geçiş sürecini tamamlamıştır (Beutler, 2016: 12).

Sayısal karasal yayın ağlarının analog yayına kıyasla çok cazip olan aşağıda sıralanan birçok özelliği bulunmaktadır (Köse, 2011: 89- 90):

- Analog bir televizyon kanalında yalnızca bir program yayınlanabilirken, sayısal televizyon sayesinde 16:9 formatında, HD ve Full HD kalitesinde 4-6 farklı program yayınlanabilmesi.
- Kanal sayısının artışına bağlı olarak alternatif yayınlar yapan niş kanalların daha geniş kitlelere ulaşabilmesi olanağı.
- Yüksek çözünürlüklü yayınlarda, stereo kalitede ses ve görüntü sunarak daha kaliteli bir seyir deneyimi sağlaması.
- Televizyon alıcısının özelliklerine göre farklı kullanıcılara değişken kalitede görüntü ve ses iletimi olanağı sağlaması.
- Elektronik Program Rehberi (EPG) ile izleyicilerin istedikleri programları seçerek kişisel program listelerini oluşturabilmesi ve istedikleri yayınlar için yayın saatinden önce bildirim alabilmesi.
- Yayınlanan programların türü, konusu, süresi, sunucuları/oyuncuları, yapım yılı gibi ek bilgilerin yanı sıra trafik, hava durumu, spor haberleri ve borsa bilgileri gibi yayından bağımsız bilgilere erişim imkânı.
- Aynı kanalda farklı dillerde yayın ve seslendirme imkanıyla, farklı dil gruplarına hitap etmenin mümkün olması. Ayrıca, duyma güçlüğü çeken veya farklı dilleri öğrenmek isteyen kişiler için farklı dillerde alt yazı seçeneği desteği.
- Taşınabilir cihazlar ve mobil alıcılarla yayın alımına olanak tanıyarak, çatı antenine bağımlılığı ortadan kaldırıp televizyon üstü antenle izleme imkanı sağlaması.
- İnternet bağlantısı olan cihazlarla canlı televizyon yayını izleme, isteğe bağlı yayın hizmetlerine ulaşım ve internet üzerinden alışveriş imkanı.

- Akıllı işaretler eklenebilirliği, etkileşimli uygulamalar, internet erişimi ve gelişmiş teletext özellikleri sunulması.
- Televizyon programlarının depolanabilerek tekrar izlenebilmesi.
- Ödemeli kanallar (Pay TV) ve izleme başına ödeme seçenekleriyle doğrudan yayın satın alınabilmesi.
- Yüksek binalar, engebeli arazi gibi çevresel faktörlerden etkilenmemesinin sonucu olarak analog yayınlarda görülen parazit, gürültü ve bozulma gibi sorunların yok edilerek daha net ve kesintisiz bir yayın elde edilmesi.
- Daha düşük güçle çalışan vericilerin kullanılması ve tek bir vericiden çok sayıda sayısal yayın yapılabilmesiyle birlikte yayılan elektromanyetik alan şiddetinin azalması. Yayıncılar için de verici, anten sistemi ve kule gibi altyapı masraflarını azaltması.

Karasal yayıncılık belirli bir spektrum aralığı içinde sınırsız sayıda kullanıcıya belirli sayıda farklı yayın hizmeti sunulduğu anlamına gelmektedir. Hizmet kalitesi izleyici kitlesinin büyüklüğünden, yani eşzamanlı kullanıcı sayısından etkilenmez. Herhangi bir zaman anında her kullanıcı dağıtım ağının toplam kapasitesine erişebilmektedir. Ancak karasal yayın ağlarında mevcut olmayan şey bir geri dönüş kanalıdır. Bu da, eğer belli bir düzeyde etkileşim gerekiyorsa, bağımsız iletişim araçlarının kullanılması gerektiği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, yayın ağları isteğe bağlı içerik sağlanmasına ya da yayıncıya doğrudan geri bildirim yapılmasına olanak tanımaz (Beutler, 2016: 12).

Karasal yayıncılığın başlangıcında, karasal yayın hizmetleri sabit çatı üstü antenler aracılığıyla alınmaktaydı. Bu hala karasal ağlar üzerinden yayın hizmetlerinde kullanılmakla birlikte, taşınabilir ve mobil alım da kolayca etkinleştirilebilmektedir.

Karasal yayın ağları yayıncılar için çeşitli avantajlar sunmaktadır. En önemli avantajı, yayın içeriğinin ücretsiz olarak yayınlanmasını (FTA-Serbest Alış) sağlamasıdır. Avrupa'da her ülkede FTA programları taşıyan neredeyse tek dağıtım teknolojisi karasal yayın teknolojisidir. Uydunun ücretsiz izleme hizmetleri de sunduğu ülkeler bulunmaktadır ancak bunlar azınlıktadır (EBU, 2014).

Sayısal karasal yayın sistemlerinde "Tek Frekans Ağı (SFN)" tekniği kullanılmaktadır. Çok taşıyıcılı Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) modülasyonu SFN'in temel anahtarıdır. Bir SFN'de bir dizi seçilmiş verici aynı frekansta aynı içeriği iletmektedir. Tek bir vericinin sinyalinin iyi bir alım sağlamak için yeterince güçlü olmayacağı alanlarda, farklı vericilerden gelen sinyal katkılarının yapıcı bir şekilde üst üste binmesi probleminin üstesinden SFN tekniği ile gelinmektedir (Beutler, 2016: 13).

Tek Frekans Ağı, aynı frekansta çalışan ve aynı içeriği ileten birden fazla vericiyi kullanarak gerekli kapsama alanını sağlamaktadır. OFDM modülasyon tekniğinin kullanılması, birden fazla radyo frekans sinyalinin alınmasını ve toplanmasını mümkün kılmaktadır. Bu, sayısal karasal televizyon yayıncılığı ağlarının tek frekanslı bir yapılandırmada çalıştırılmasını kolaylaştırmaktadır (ITU-R BT.2137, 2008).

Bir SFN'de, kapsama alanı içindeki birçok alıcı konum birden fazla verici tarafından hizmet alabilmektedir. Bu durum, sinyal alımında belirli bir düzeyde yedeklilik oluşturmakta ve hizmetin kullanılabilirliğini artırmaktadır. Tek bir vericiden gelen alan gücü, özellikle taşınabilir ve mobil alımda, yayılma yolunda engellerin varlığı nedeniyle istatistiksel dalgalanmalar göstermektedir. Ancak, alıcıdan bakıldığında farklı yönlerde yer alan birden fazla vericinin varlığı, bir kaynak gölgelendiğinde diğerleri kolayca alınabildiğinden bu sinyal gücü dalgalanmasını azaltabilmektedir. SFN'nin bu yönü, "ağ kazancı" olarak bilinen bir olguyu ortaya çıkarmaktadır (ITU-R BT.2137, 2008).

Bir SFN'de, bir ağdaki tüm vericiler aynı frekansı kullanmaktadır. Ortak bir kapsama alanına sahiptirler ve bağımsız olarak çalıştırılamazlar. Bir SFN, aynı alanı kapsayan tek bir vericiye kıyasla kapsama alanı boyunca daha homojen bir alan gücü dağılımı sağlayacak şekilde tasarlanabilmektedir (ITU-R BT.2137, 2008).

Bir SFN'nin uygulanması, uygun bir yere boş kalan alanı doldurmak amacıyla bir verici ekleyerek kapsama alanındaki boşlukları kolayca kapatma imkanı da sunmaktadır. Kapsama alanları, yayıncıların ihtiyaçlarını karşılamak veya düzenleyici yükümlülüklere uymak için uyarlanabilmektedir. Ayrıca, geniş bir alanda tek bir frekans kullanmak, her bir verici için farklı bir frekans kullanmaktan daha verimli bir spektrum kullanımı olmaktadır. Ancak, vericilerin konumları ve teknik özellikleri dikkatle seçilmelidir. Yayın ağını tasarlamak için genellikle çeşitli türlerde optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır (Beutler, 2008: 192).

Yayın ağlarının konuşlandırılması sadece teknik bir zorluk değil, aynı zamanda yüksek maliyetli olmaktadır. Bu durumda, ne kadar çok kullanıcı karasal yayın ağları üzerinden aktif olarak yayın içeriği alırsa, kullanıcı başına toplam ağ maliyetlerinin o kadar küçük olması avantajını sağlamaktadır. Sonuç olarak, yayın hizmetlerini almak için birincil araç olarak karasal yayıncılığın yüksek kullanıma sahip olduğu ülkelerde, karasal yayıncılık kesinlikle doğrusal yayın içeriği sunmanın en ucuz yoludur (Beutler, 2016: 14).

Karasal yayın ağları üzerinden dağıtımın önemli bir unsuru, alıcı pazarının şebeke operatörlerinden bağımsız olmasıdır. Bir sayısal karasal yayın alıcısı ve buna uygun bir anten kurulumu satın almak, genellikle çok sayıda ücretsiz yayın hizmetini almak için yeterli olmaktadır. Diğer dağıtım seçeneklerinde şebeke operatörlerinin alıcı cihazlar üzerinde etkisi vardır veya bunları tamamen kontrol etmektedirler (Beutler, 2016: 14).

MPEG taşıma akışı teknolojisini kullanmakta olan karasal yayın teknolojileri, veri akışı için yavaş yavaş IP protokolünü benimsemektedir. Yayıncılar, örneğin akıllı telefonlara ve tabletlere doğrusal hizmetleriyle de ulaşabilmenin giderek daha önemli olacağının farkına vardıkça, bu son yıllarda ilgi çeken konulardan biri haline gelmiştir.

2.2.5.4. Geniş Bant Ağlar

Geniş bant ağlar, yayıncılık şirketlerinin kullanıcılarına doğrusal ve doğrusal olmayan yayın hizmetleri sunmaları için vazgeçilmez bir yol haline gelmiştir. Geniş bant hizmetleri garantili bir hizmet kalitesi sunmayı amaçlamaktadır ve doğrusal TV hizmetleri sunmak için kullanılabilmektedir.

Genel anlamda, çeşitli içerik ve hizmetler internete bağlı bir sunucuya yüklenerek sunulmaktadır. Kullanıcılar bu içeriğe internet özellikli cihazlarından talep ettikleri takdirde erişebilmektedirler. Sunucudan kullanıcı cihazına iletim, farklı ağ operatörleri tarafından işletilen birkaç bağımsız ağ üzerinden yapılmaktadır.

Geniş bant ağlar üzerinden iletişim günümüzde genellikle İnternet Protokolüne (IP) dayanmaktadır. İnternet protokolünün uygulanması, orijinal veri akışının veri paketleri oluşturma açısından yeniden düzenlenmesi anlamına gelmektedir. Bu paketler, iletilecek verileri kapsülleyen belirli bir paket yapısına göre oluşturulmaktadır. Tüm paketler, kaynak ve hedef cihazın IP adreslerini ve iletilecek belirli miktarda veriyi içeren bir başlıktan oluşmaktadır. Paketler birbirinden bağımsız olarak teslim edilmektedir. IP tabanlı iletişim ilkelerine göre paketler kaynaktan hedefe farklı rotalar izleyebilir. Tüm paketler hedefe ulaştığında orijinal sinyal yeniden oluşturulabilir (Jingyi, 2023).

Sayısal yayın ağları IP tabanlı taşımanın aksine farklı bir tür taşıma akışı mekanizması (genellikle MPEG taşıma akışı) kullanmaktadır. Teknik ayrıntılar bir yayın sisteminden diğerine farklılık gösterse de, taşıma akışı yaklaşımının en önemli özelliği sinyalin geldiği gibi iletilmesi, yani zaman içindeki sıranın korunmasıdır. Belirli bir zaman aralığında bitlerin sırasını değiştirerek veri akışındaki bitlerin zamansal olarak doğru sıralamasını bir dereceye kadar bozan zaman serpiştirme gibi teknolojiler olsa bile iletim

sırası geçerliliğini korumaktadır. Bu tür teknolojiler zor yayılma koşullarıyla, özellikle de mobil sinyal alımıyla başa çıkmak için kullanılmaktadır ve alıcıda orijinal bit dizisi yeniden oluşturulmaktadır.

Ayrıca, yayın iletimi kaynak verinin zamansal sıralamasına uymak zorunda olduğundan, iletimin iletim yolu boyunca herhangi bir bozulmaya karşı uygun şekilde korunması sağlanmalıdır. Bu genellikle ek olarak etkili hata düzeltme şemaları uygulanarak gerçekleştirilmektedir (Lim vd., 2014).

Veri paketlerinin nasıl ele alındığının yanı sıra, yayın ve genişbant ağları arasında temel ve çok önemli bir fark vardır. Yayın ağları genellikle tek yönlü bire bir iletişim kurarken, geniş bant ağlar çeşitli iletişim türleri sunmaktadır. Bunlardan en önemlisi "unicast" adı verilen iki ayrı cihaz ya da kullanıcı arasındaki çift yönlü iletişimdir. Bununla birlikte, aynı içeriği prensipte sınırsız sayıda kullanıcıya aynı anda sunan geleneksel yayın ağına benzeyen bir geleneksel yayın (broadcast) modu uygulama imkanı da vardır. Ara bir iletişim türü, sınırlı sayıda kullanıcıya aynı veri akışı ile eşzamanlı olarak hizmet verilen çok noktaya yayın (multicast) olacaktır (Minoli, 2008).

Belirli bir geniş bant ağında hangi iletişim türü etkin olursa olsun, ağın toplam kapasitesi kullanıcılar arasında paylaşılmaktadır. Dolayısıyla, eşzamanlı kullanıcı sayısı arttıkça, hepsine unicast bağlantıları üzerinden hizmet verilmesi durumunda her biri için mevcut olan kapasite azalacaktır. Bu durum kalitenin bozulmasına, tıkanıklıklara ve sonuç olarak kötü kullanıcı deneyimine yol açabilmektedir. Aynı anda aynı görsel-işitsel içeriği talep eden birden fazla kullanıcı olması durumunda, çoklu yayın (multicast) veya hatta yayın (broadcast) moduna geçmek kapasite sorunlarıyla başa çıkmaya yardımcı olabilmektedir.

Geniş bant ağlardaki iletişimin çoğu tek noktaya yayın iletişimidir. Bir yayın içeriği sağlayıcısı açısından bakıldığında, özellikle doğrusal yayın hizmetlerinin sunulması açısından, geniş bant ağlarda da yayın modlarının kullanılması avantajlı olacaktır. Doğal olarak, bunların çok sayıda eş zamanlı kullanıcı tarafından tüketilmesi amaçlanmaktadır (Beutler, 2016: 22).

Geniş bant ağlar üzerinden yayın (broadcast) veya çok noktaya yayın (multicast) dağıtımı ile ilgili karşılaşılan temel sorun, kaynaktan hedefe giden yolda birçok farklı ağ operatörünün ve internet servis sağlayıcının yer almasıdır. Uçtan uca çok noktaya yayın dağıtımı için tüm tarafların işbirliği yapması gerekir ki bu da ticari çıkarlar ve karmaşıklık nedeniyle gerçekçi değildir. Sonuç olarak, geniş bant ağlarda hizmetlere erişimin yaygın şekli unicast bağlantılarıdır. Bu durum, içeriklerinin dağıtımı için geniş bant ağlardan yararlanmak isteyen yayın şirketleri için temel bir sorun teşkil etmektedir. Genişbant

ağlarındaki akışın çoğu tek noktaya yayın bağlantılarından kaynaklandığı sürece, genişbant ağlarındaki dağıtım maliyetleri eşzamanlı kullanıcı sayısı, yani üretilen akış miktarı ile değerlendirilmektedir (Beutler, 2016: 22).

Sabit genişbant ağı, ev, işletme ya da kuruluşun binası gibi sabit bir konuma genişbant bağlantısı anlamına gelmektedir. İnternete erişim, bina içinde internet servis sağlayıcıya ağ geçidi görevi gören bir yönlendirici aracılığıyla sağlanmaktadır.

Sabit genişbant üzerinden yayın içeriği dağıtımı, yayıncılar için pahalıdır ancak kullanıcılar için genellikle sabit fiyatlı ve veri sınırı olmayan paketlerle ekonomik bir seçenektir. Bu ağlar, evde birden fazla cihazın aynı anda sorunsuzca televizyon izleyebilmesine olanak tanımaktadır (Beutler, 2016: 25).

Mobil genişbant ağlar, 1980'lerde ilk mobil ağların ortaya çıkmasıyla iletişimde köklü bir değişim başlatmıştır. Başlangıçta sabit hatlar üzerinden iletişim sağlanırken, mobil ağlar sayesinde insanlar cep telefonlarıyla hareket halindeyken de iletişim kurma özgürlüğüne kavuşmuştur. İlk mobil ağlar basit ses hizmetleri sunarken, kapsama alanının genişlemesi ve hizmet kalitesinin artmasıyla tüketiciler daha fazla özellik ve hizmet talep etmeye başlamıştır. Teknoloji firmaları ve mobil operatörler, mobil ağları sürekli geliştirmeye devam ederek her on yılda bir yeni nesil mobil teknolojileri tanıtmışlardır. Örneğin 4G (LTE) 2010'da, 5G ise 2020 sonrası piyasaya sürülmüştür (GSMA, 2014).

5G'nin 2020'den sonra hayatımıza girmesiyle birlikte mobil genişbant ağların sınırlarını daha da zorlamıştır. 5G'nin yüksek hız ve düşük gecikme avantajları, kullanıcıların her türlü hizmete her yerden ulaşabilmesine imkan tanımaktadır.

Mobil genişbant, belirli bir alanda hizmet sağlamak için bir dizi baz istasyonunun konuşlandırılması yönüyle karasal bir ağ yapısına benzemektedir. Her baz istasyonu, belirli bir alanı kapsamakta ve kullanıcılar, bu istasyonlardan birine bağlanarak hizmet almaktadır. Hücresel yapısı sayesinde, kullanıcılar hareket halindeyken bile baz istasyonları arasında kesintisiz bağlantı sağlanabilmektedir. Ancak, her baz istasyonunun bir kapasitesi bulunmaktadır. Aynı anda çok sayıda kullanıcı tarafından yoğun talep olduğunda hizmetin verimliliği azalmaktadır. Bu nedenle, yoğun kullanım durumlarında hizmet kalitesinde düşüşler yaşanabilmektedir. Bu durum, mobil ağlarda özellikle unicast gibi büyük veri aktarım taleplerinde yaşanan yaygın bir sorundur (Beutler, 2016: 26).

Baz istasyonları güçlü bağlantılara sahip olsa da, veri trafiği arttıkça performansı azalabilmektedir. Sabit ağlar gibi, mobil genişbant ağlar üzerinden yayın dağıtımı da yayıncılar için yüksek maliyetlidir. Tüketici açısından ise mobil veri paketleri, veri miktarı sınırlamaktadır. Genellikle bu veri miktarları, yüksek kaliteli video izlemek için sınırlı

süreler sağlamaktadır. Bu durum, mobil genişbant ağlar üzerinden görsel-işitsel içerik tüketiminin halen sınırlı kaldığını ve diğer platformları tamamlayıcı bir nitelik taşıdığını göstermektedir. Yüksek talepli hizmetler sunmak için mobil ağlar ve sabit genişbant ağlar birlikte çalışmaktadır (Beutler, 2016: 27).

Özetle, mobil genişbant ağlar sabit genişbant ağlara kıyasla daha fazla esneklik sağlasa da, veri sınırları ve hizmet kalitesi bakımından hala bazı kısıtlamalara sahiptir. Özellikle yayın içeriklerinin dağıtımı ve tüketimi açısından mobil ağlar maliyetli ve sınırlı bir altyapı sunmaktadır (Beutler, 2016: 27).

BÖLÜM 3

HÜCRESEL İLETİŞİM SİSTEMLERİ

Kablosuz iletişimin temelleri, Sir William Herschel'in kızılötesi ışığı keşfetmesiyle atılmıştır. Bir yıl sonra Johann Wilhelm Ritter, morötesi ışığı bulmuştur. 1867'de James Clerk Maxwell, radyo dalgalarının varlığını öngörmüştür ve 1887'de Heinrich Hertz, laboratuvarında radyo dalgalarını üretmiştir. Michael Faraday, James Clerk Maxwell ve Heinrich Hertz, Faraday'ın Elektromanyetik İndüksiyon yasası, Maxwell denklemi ve Elektromanyetik Radyasyon Fotoelektrik Etkisi gibi farklı mekanizmaların tanıtılmasıyla elektromanyetik dalgalar üzerinden iletişim mümkün olmuştur (Falciasecca ve Valotti, 2009: 544).

1901'de Guglielmo Marconi "Kablosuz Telgraf" denilen buluşuyla Atlantik üzerinden ilk radyo sinyalini elektromanyetik dalgalar aracılığıyla Amerika'ya göndererek kablosuz iletişimde büyük bir adım atmıştır. Aynı dönemde Nikola Tesla da benzer çalışmalar yaparak 1898'de radyo kontrollü bir robot tekne icat etmiştir. Bu gelişmelerin sonucunda kablosuz iletişim çağı başlamıştır. 1940'lı yıllarda kurulan ilk hücresel kablosuz ağ ile başlayan bu gelişim süreci, günümüzde sayısal çoklama ve modülasyon tekniklerindeki gelişmelerin de desteği ile devam etmektedir (Seçgin, 2023: 6).

Gelişmiş kablosuz hücresel ağların anlaşılabilir olması için öncelikle hücresel iletişimin anlaşılması gerekmektedir. Mobil kablosuz iletişim sistemlerinin gelişimi son 30-40 yılda farklı aşamalardan geçerek ilerlemiştir. 6G'ye giden gelişim yolculuğunda ilk kilometre taşı, frekansın yeniden kullanımını temel alan hücresel iletişim sistemidir. Hücresel iletişim sistemleri, sınırlı frekans kaynağının getirdiği kısıtlamaların üstesinden gelmek için geliştirilmiştir. Birbirine komşu olmayan hücreler üzerinde aynı frekansların kullanılmasıyla kurulan bu sistemler, kablosuz iletişim sistemleri için önemli bir adım olmuştur. İlk nesil mobil ağların gelişimi 1970'lerin başında başlamıştır. 1990'ların ortalarından itibaren hücresel iletişim endüstrisi hızla büyümüştür ve hâlen de devam etmektedir (Mishra, 2007: 1).

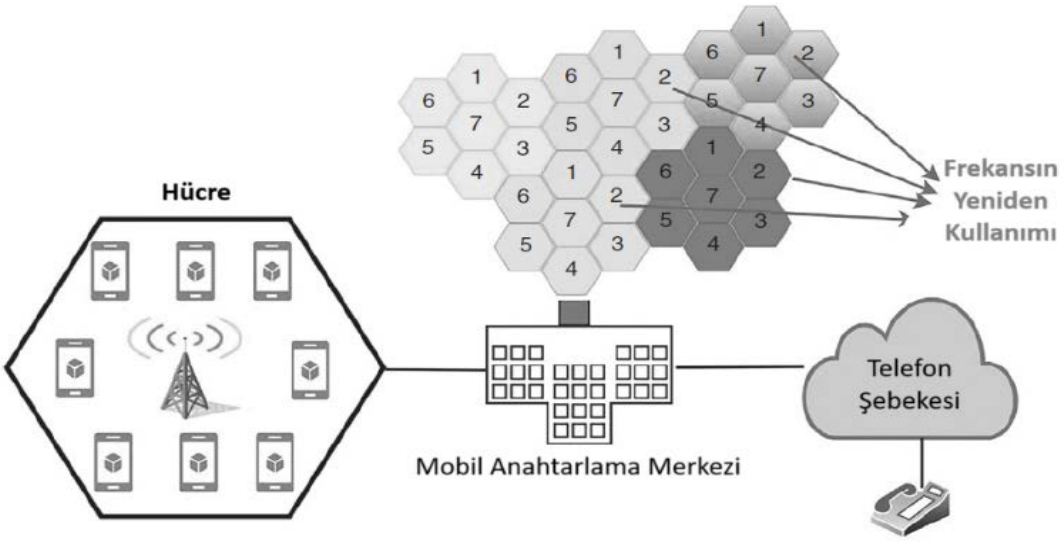
Veri iletimi ve iletişimde önemli gelişmelerden biri hücresel ağların geliştirilmesi olmuştur. Hücresel iletişimin gelişmesiyle birlikte mobil iletişim de mümkün hâle gelmiştir. Frekansın yeniden kullanımı ile sınırlı spektrumun iletişimde en verimli şekilde kullanılması sağlanmıştır (Arup, 2022; Datareportal, 2022).

Hücresel iletişim altyapısından önce kullanılan kablosuz iletişim sistemleri 80 km yarıçaplı bir alana hizmet vermekte ve yaklaşık 25 kanal sunmaktaydı. Böyle bir altyapıda iletişim kapasitesini artırmanın en pratik yolu daha küçük, düşük güçlü sistemler tasarlamak olacaktır. Böylece çok sayıda alıcı-verici kullanmak mümkün olacaktır (Beard vd., 2015: 429).

Bir hücresel ağın merkezinde, hücre adı verilen alanların ortasına çok sayıda, düşük güçlü (100 W veya daha az) verici ve alıcıların yerleştirilmesi yer almaktadır. Bu şekilde, kapsama alanı düşük olan bir verici kullanılarak geniş alanlar hücre adı verilen daha küçük parçalara bölünerek iletişim altyapısı oluşturulmaktadır. Her hücrenin ortasında bulunan verici, alıcı ve kontrol birimlerinden oluşan yapıya baz istasyonu denilmektedir. Girişim ve sinyal bozulmasını önlemek için komşu hücrelerde farklı frekanslar kullanılırken, bitişik olmayan hücrelerde aynı taşıyıcılar kullanılabilir (frekansın yeniden kullanılması). Bu şekilde frekans alanında maksimum kullanım elde edilmektedir (Şekil 12) (Seçgin, 2023:6).

Şekil 12

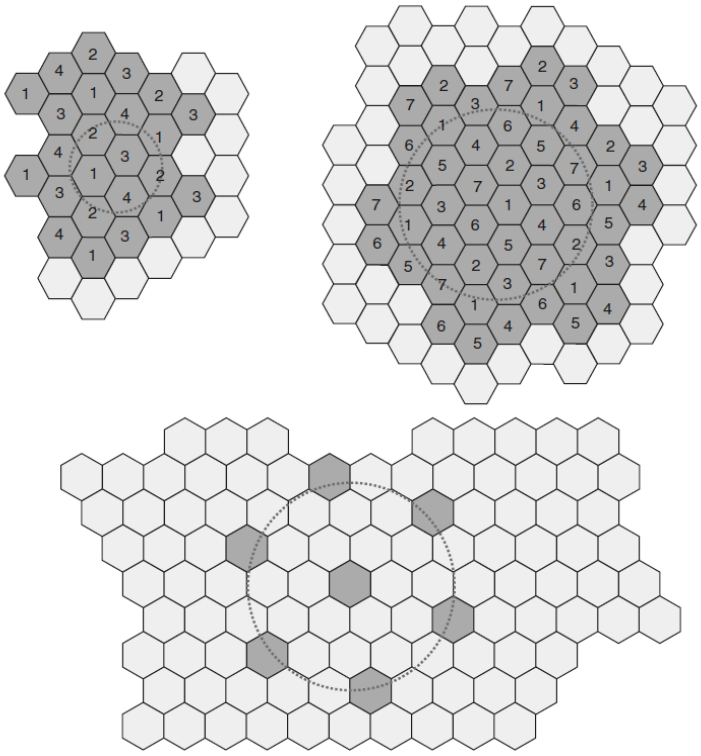
Hücresel kablosuz iletişim sistemi (Seçgin, 2023:6)



Hücresel iletişimde frekansın yeniden kullanımı ile yüzlerce hücreden oluşan bir iletişim altyapısı kurmak mümkün olmaktadır. Şekil 13'te sırasıyla 4 ve 7 numaralı frekansın tekrar kullanım modelleri için hücre yapısı gösterilmektedir (Beard vd., 2015: 431).

Şekil 13

Hücresel frekansın yeniden kullanımı (Seçgin, 2023:6)



Hücre genişlikleri, coğrafi alanın nüfusu ve çağrı trafiği değerlendirilerek optimize edilmektedir. Tipik bir hücrenin yarıçapı 1,5 ila 20 km arasında değişir. Hücre yarıçapı, çağrı trafiğinin ve nüfusun daha az yoğun olduğu kırsal alanlarda da genişlemektedir. Hücreler, çağrı trafiğinin kaldırılamayacak kadar fazla olduğu yerlerde alt hücrelere bölünmektedir. Frekans bantlarındaki kısıtlama nedeniyle, aynı frekanslar bitişik olmayan hücreler arasında tekrar tekrar kullanılabilmektedir.

Her nesil, daha hızlı iletişim, daha güçlü bağlantılar ve daha geniş kapsama alanı sağlayan bazı kapasitelere ve yeni özelliklere sahiptir. Hücresel iletişim sistemlerinin özellikleri aşağıdaki gibi özetlenmektedir (Datareportal, 2022):

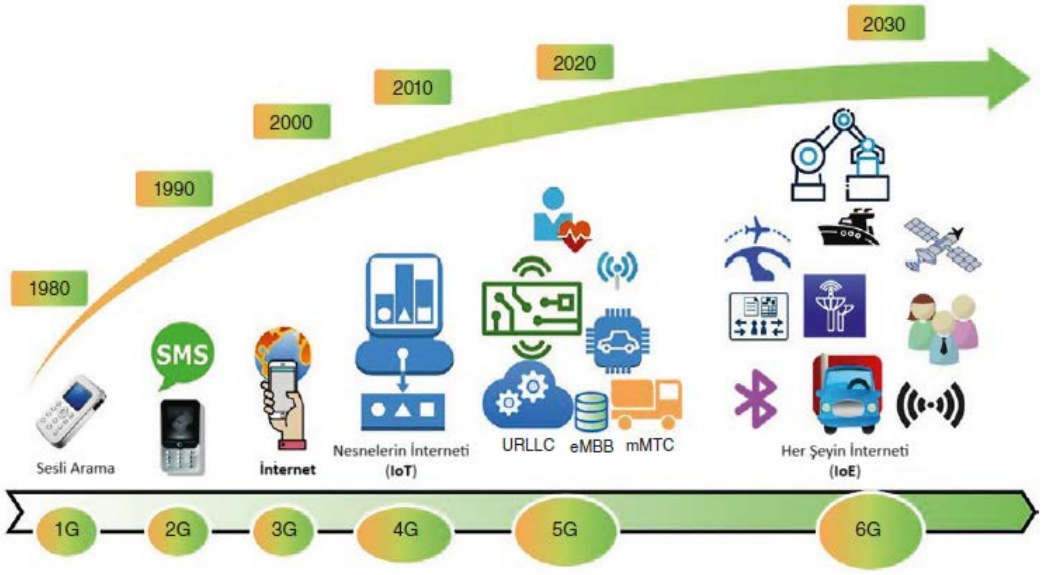
- Sınırlı frekans spektrumunda yüksek kullanım kapasitesi.
- Radyo kanallarının farklı hücrelerde tekrar kullanılması.
- Kanal sayısından daha fazla sayıda kullanıcı arasında belirli sayıda kanalın etkin dağılımı ve kullanımı.
- Mobil cihaz ve baz istasyonu arasında doğrudan iletişim (mobil cihazlar arasında doğrudan iletişim olmaması).

- Her hücresel baz istasyonu, bir dizi radyo kanalı kullanarak hücre adı verilen küçük coğrafi alanlarda bulunmaktadır.
- Komşu hücrelerde farklı frekans grupları kullanılmaktadır.
- Kapsama alanını hücrelerle sınırlandırarak kanal gruplarının farklı hücrelerde kullanılmasını sağlamaktadır.
- Parazit ve gürültü seviyeleri tolere edilebilir sınırlar içinde tutulmaktadır.
- Frekans kurtarma ve frekans planlama.
- Kablosuz hücresel ağ kuruluşları.

40 yıla yakın bir süredir dünya beş nesil mobil iletişim kullanımına tanıklık etmiştir. Birinci nesilden beşinci nesile doğru ilerlemiş ve veri taşıma kapasitesi ile gecikme süresinin azaltılmasında önemli derecede ilerlemeler kaydetmiştir. Şekil 14'te gösterildiği gibi, hücresel ağların önemi, yeni nesil teknolojinin gelişmesiyle birlikte değişmektedir (Seçgin, 2023:7). Her nesil, önceki neslin kullanım durumlarını optimize ederken yeni kullanım senaryoları ve teknik yetenekler getirmiştir (Kharel, 2022: 2).

Şekil 14

Mobil ağ gelişiminin zaman çizelgesi (Seçgin, 2023:7)



3.1. Birinci Nesil (1G)

"1G (First Generation - Birinci nesil)" terimi, 1980'lerde tanıtılan analog telekomünikasyon standartları olan birinci nesil hücresel sistemleri ifade etmektedir. 1G'den önce, çoğunlukla Avrupa ve Kuzey Amerika'daki belirli kentsel alanlarda mevcut olan bir

dizi izole mobil ağ mevcuttu. Bu ağlar “0G” olarak da adlandırılabilmektedir (Božanić ve Sinha, 2021: 39).

50'li ve 60'lı yıllardaki araştırma ve geliştirme çalışmaları doğrultusunda AT&T, Motorola, Japonya'da Nippon Telefon ve Telgraf Şirketi (NTT) ve Avrupa'da Ericsson gibi şirketler 70'li yıllarda çeşitli hücresel mobil sistemler geliştirdiler (Grami, 2015: 4). Birinci nesil mobil sistemlerin birincil amacı temel sesli arama hizmetleri sağlamaktı. Konuşma hizmetleri için analog iletim ile ses kanalı tipik olarak frekans modülasyonu (FM) ve FDMA (frekans bölmeli çoklu erişim) tekniklerini kullanmaktaydı (Agarwal vd., 2019:34). Analog radyo sinyalleri kullanılarak aramanın sesi radyo kuleleri arasında iletilirken daha yüksek bir frekansa değiştirilmekteydi. Ortalama veri hızı 2.4Kbps olan bir kablosuz ağ iletişimiydi (Alsharif ve Nordin, 2016: 618).

1979 yılında dünyadaki ilk hücresel sistem Japonya'nın Tokyo şehrinde NTT tarafından faaliyete geçirilmiştir. 1983 yılında Kuzey Amerika'da frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA) üzerinde 30 kHz kanal kullanan AMPS (Advanced Mobile Phone System) tasarlanıp devreye alınmıştır (Grami, 2015:4). AMPS sistemine ek olarak, İskandinav ülkeleri tarafından ortaklaşa geliştirilen NMT (Nordic Mobile Telephony), Birleşik Krallık'ta kullanılan TACS (Total Access Communication System) ve Japonya’da geliştirilen JTACS (Japan Total Access Communications System) ile MCS (Japanese Mobile Cellular System) sistemleri de birinci nesil analog mobil iletişim sistemleridir (Alsharif ve Nordin, 2016: 618).

Aşağıdaki AMPS, NMT, TACS sistemleri özetlenmiştir (Seçgin, 2023:56).

AMPS:

- Analog FM modülasyonu.
- Frekans bölmeli dupleksleme (FDD).
- FDMA tabanlı çoklu erişim.
- Kanal bant genişliği 10 kHz'e kadar.
- Kuzey Amerika varyantı.

NMT:

- Analog FM modülasyonu
- Frekans bölmeli dupleksleme (FDD).
- FDMA tabanlı çoklu erişim.
- 12,5 kHz veya 25 kHz bantlar.
- Avrupa ülkeleri varyantı.

TACS:

- Analog FM modülasyonu.
- Frekans bölmeli dupleksleme (FDD).
- FDMA tabanlı çoklu erişim.
- 30 kHz kanal bant genişliği.
- Japonya varyantı.

Birinci nesil teknolojiye dayalı mobil iletişim sistemleri ses hizmetleriyle sınırlı kalmıştır ve ilk kez mobil telefonu sıradan insanlar için erişilebilir hâle getirmiştir (Dahlman vd., 2023:1)

1G tipi telefonlar 1982 yılında ses hizmetlerinin kullanımı için tanıtılmıştır (Şekil 15) ve Gelişmiş Mobil Telefon Sistemi (AMPS) olarak bilinen teknolojiye dayanmaktadır (Agarwal vd., 2019:34).

Şekil 15

Birinci nesil haberleşmede kullanılmış olan mobil cihaz örneği (Muppavaram vd., 2023:55)



Kablosuz iletişimin çok ilkel bir yolu olan 1G çeşitli dezavantajlara sahipti. Telsiz tarayıcı erişimi olan herkes bir görüşmeye katılabildiği için şifrelenmemiş görüşmeler 1G teknolojisi için büyük bir endişe kaynağıydı. Düşük ses kalitesi, düşük kapsama alanı, büyük mobil cihazlar, düşük arama süresi, sınırlı kapasite, düşük pil ömrü, operatörler arasında dolaşım desteği olmaması, bağlantıların sık sık kopması, enterferansın sık yaşanması ve farklı frekans aralıklarında çalışan sistemler arasında uyumluluk olmaması da eksiklikleriydi. Ayrıca sadece ses iletişimine odaklanan bu sistemler, veri taşıma konusunda

da oldukça yetersizdi ve baz istasyonlarının yüksek enerji tüketimi gibi ek sorunlara da neden oluyordu (Garg, 2010:5; Kharel, 2022: 3). 1G'nin eksiklikleri hızla belirginleşip 2G'nin geliştirilmesine yol açmıştır.

3.2. İkinci Nesil (2G)

İkinci nesil (2G) mobil sistemler, 1G'deki yetersiz kalan alanları tamamlamak amacıyla 1980'lerin sonunda çalışılmaya başlanmıştır. İkinci nesil ağlar ticari olarak 1991 yılında Finlandiya'da GSM (Global System for Mobile) temelinde piyasaya sürülmüştür (Rahman ve Ahmmed, 2016: 19).

Başlangıçta, çok sayıda Avrupa ülkesi tarafından ortaklaşa geliştirilen GSM (Global System for Mobile communication), D-AMPS (Digital AMPS), Japonya'da geliştirilen ve sadece Japonya'da kullanılan PDC (Personal Digital Cellular) ve Amerika'da geliştirilen CDMA tabanlı IS-136 ve IS-95 teknolojisi dâhil olmak üzere birkaç farklı ikinci nesil teknoloji bulunmaktaydı. Zaman geçtikçe GSM Avrupa'dan dünyanın diğer bölgelerine yayılarak ikinci nesil teknolojiler arasında tamamen hakim konuma gelmiştir (Dahlman vd., 2023:1).

2G'nin tanıtılması, sayısal teknolojiyi mobil iletişime önemli ölçüde dâhil ederek mobil iletişimi kökten değiştirmiştir. Analog sinyaller aşamalı olarak kaldırılmış ve yerlerine zaman bölmeli çoğullama erişimi (TDMA) ve kod bölmeli çoğullama erişim (CDMA) gibi sayısal ses kodlama teknikleri getirilmiştir. Bu değişiklik, mevcut spektrumun daha verimli kullanılmasını mümkün kılarak ses iletimlerinin kalitesini artırmıştır (Liikanen vd., 2004:1139; Oliphant, 1999:21).

Böylece 2G ile telefon görüşmeleri artık daha verimli ve düzenli hâle gelmiştir. Sayısal sinyalleri zaman dilimlerinde veya benzersiz kodlar kullanarak gönderen ve alan sayısal baz istasyonlarının uygulanması, bunların kullanılmasını gerektiren 2G için ağ altyapısının önemli bir parçasıydı. Bu sayede birden fazla kişi aynı frekans aralığına aynı anda erişebilmiştir (Liikanen vd., 2004:1141; Oliphant, 1999:21).

İkinci nesil mobil iletişimde hedef hizmetin ses olmasının sonucunda uzak mesafeler arasında iletişim kurmak dünya çapında kabul gören GSM teknolojisi sayesinde mümkün olmuştur. Uzak mesafeli ses iletiminden sonra ikinci nesildeki öncelik sınırlı da olsa mobil veri hizmetlerinin sağlanması olmuştur (Agarwal vd., 2019:35). İkinci nesil, 9.6kb/s'ye kadar veri hızları sağlayabilmektedir (Ganatra, 2017:4).

GSM'nin başarısı nedeniyle, ikinci nesil sistemler mobil telefonu insanların sadece nispeten küçük bir kısmı tarafından kullanılan bir şey olmaktan çıkarıp dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğu için hayatın gerekli bir parçası olan bir iletişim aracına dönüştürmüştür. Böylece son teknoloji taşınabilir cihazların geliştirilmesinin önünü açmıştır (Dahlman vd., 2023:1).

Şekil 16

İkinci nesil cep telefonları (Muppavaram vd., 2023:55)



Öncü nitelikteki SMS (Kısa Mesaj Servisi) de ikinci nesilde tanıtılmıştır ve kullanıcıların birbirleriyle kısa mesaj yoluyla iletişim kurmasına olanak tanımıştır (Muppavaram vd., 2023:55). Tüm mesajlar ve metinler şifrelenerek yalnızca hedeflenen alıcının okuyabilmesini sağlamıştır. Kısa mesajın kullanılması GSM sisteminin popülaritesi kısa sürede artırarak 2007 yılında üç milyardan fazla kullanıcıyı mobil telefona bağlamıştır (Mishra, 2010: 15).

İkinci nesil sayısal sistemle iletildiğinden dünyanın çoğunu kapsamış olsa bile 2G'nin gelişimi birinci nesil sistemlere dayanmaktadır. 1G ile 2G'nin karşılaştırılması aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Beard vd., 2015: 449).

- 1G ve 2G arasındaki temel fark, 1G'nin tamamen analog olmasına rağmen 2G'nin sayısal sistemlerden inşa edilmesidir.
- İkinci nesil sistemlerde kullanıcı ve kontrol verileri sayısal formda iletildiğinden, gizli dinlemeyi önlemek için şifreleme nispeten daha kolaydır. 1G sistemlerde kullanıcı trafiği gizli dinlemeye açık olarak gönderilip alınırken, 2G sistemlerde şifreleme yapılmaktadır. Bu sayede 1G sistemlerdeki güvenlik açığı da ortadan kaldırılmıştır.
- 2G sistemleri sayısal olduğundan, hata algılama ve düzeltme mekanizmaları da uygulanabilir hâle gelmiştir. Böylece 1G sistemlere kıyasla daha kaliteli ses iletimi elde edilmektedir.

- Birinci nesil sistemlerde her hücre birkaç kullanıcıyı desteklemekteydi. Bu sistemlerde çoğullama teknikleri kullanılmadığından, bir kanal herhangi bir zamanda yalnızca bir kullanıcıya tahsis edilebilmekteydi. 2G sistemleri ile zaman bölmeli çoğullama erişimi (TDMA) veya kod bölmeli çoğullama erişimi (CDMA) kullanılarak hücre başına çok kanallı bir yapı kurulmuştur. Böylece her bir kanal kullanıcılar arasında dinamik olarak tahsis edilebilmektedir.

Sonuç olarak ikinci nesil (2G) hücresel iletişim ağları, 1G'ye kıyasla daha yüksek spektrum verimliliği, sinyal kalitesi, veri hızları ile birlikte daha gelişmiş dolaşım ve sayısal hizmet kapasitesi sağlamıştır (Rahmanve Ahmmed, 2016, 2016:19; Seçgin, 2023:64).

2G teknolojisinin temelini oluşturan devre anahtarlama yönteminin kısıtlılıkları ve artan veri ihtiyacı, 2G'den temel alan ve veri iletişimini önemli ölçüde geliştiren 2.5G (GPRS) ve 2.75G (EDGE) teknolojileri ortaya çıkarmıştır (Meraj ve Kumar, 2015:2547).

3.2.1. 2.5G ve 2.75G:

2,5G olarak bilinen kablosuz ağ teknolojisi, 2G ile 3G arasında bir adım olarak değerlendirilmektedir. GPRS (General Packet Radio Service - Genel Paket Radyo Hizmeti) olarak da bilinen standart ile daha önce 28 kbps olan veri iletim hızları 56'dan 115 kbps'ye çıkmıştır. Paket anahtarlama, verilerin daha verimli bir şekilde iletilmesini sağlayarak ağ kapasitesini artırıp kullanıcı deneyimini iyileştirmiştir.

GPRS hizmetinin paket veri özelliğinin devreye girmesiyle birlikte IP tabanlı iletişimin önü açılmıştır (Seçgin, 2023: 64). GPRS ile internet erişiminin sağlanması ile birlikte SMS'in yanında MMS (Multimedia Messaging Service - Multimedya Mesajlaşma Servisi) kullanımını ortaya çıkarmıştır (Akkurt, 2021:116).

GPRS'den sonraki aşamada, bir GSM standardı olarak tanımlanan EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution - - GSM Evrimi için Geliştirilmiş Veri Hızları) teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır. 2.75G olarak da bilinen EDGE teknolojisi ile GPRS servis hızları üç katına (384 kbps) çıkarılmıştır. Ayrıca bu süre zarfında internetin popülerleşmesi sonucunda GPRS ve EDGE teknolojileri ile günümüz mobil web uygulamalarının atası sayılabilecek WAP (Wireless Application Protocol - Kablosuz Uygulama Protokolü) uygulaması geliştirilmiştir. GPRS'in getirdiği paket tabanlı iletişimin mobil internet için ilk adım olduğu söylenebilmektedir. (Suat Sezgin). Dolayısıyla cep telefonları web taramasını desteklemeye başlamıştır (Ganatra, 2017:4).

Son olarak, 2G'nin 1G'ye kıyasla getirdiği yenilikler aşağıdaki şekilde özetlenmiştir (Seçgin, 2023: 64):

- Veri ve ses sinyallerinin sayısal şifrelenmesi.
- Yüksek ses kalitesi.
- Daha fazla kullanıcıya eş zamanlı hizmet.
- Daha verimli bir spektrum.
- Daha küçük ve daha ucuz telefonlar.
- Dolaşım desteği.
- Kısa Mesaj desteği.
- MMS (multimedya mesajlaşma servisi) ile ses, video ve görüntü aktarımı (GPRS ve EDGE).
- Azalan güç tüketimi ile daha hafif ve daha küçük boyutlu mobil cihazlar.

2G dönemlerinde, artan kullanıcı sayısı ve veri trafiği nedeniyle birlikte cihazların yetersiz kalmasıyla da ağlarda yoğunluk yaşanmaya başlamıştı. Bu da hattın meşgul olmasına neden olmaktaydı. Sorunun üstesinden gelmek için paket anahtarlama teknolojisinin daha gelişmiş olduğu 3G sistemleri oluşturulmuştur. Ayrıca, 3G ile birlikte daha yüksek veri hızları ve yeni uygulamaların kapısı aralanmıştır.

3.3. Üçüncü Nesil (3G)

Üçüncü nesil, 2G sistemlerini takip eden ve temel ses kapasitesine ek olarak yüksek hızlı veri hizmetleri sunan sistemler için kullanılan tanımlamadır (Agarwal vd., 2019:35).

3G öncesi mobil ağların ve cihazların geliştirilmesi aşamasında farklı ülkelerde farklı mobil haberleşme standartları kullanılmaktaydı. Bu da küresel uyum ve entegrasyonu zorlaştırıyordu (Rahman ve Ahmmed, 2016: 20). Japonya, Kore, Amerika ve Çin'deki bölgesel standart gelişmelerini de kapsayan küresel sistem standardizasyonunun başarılı bir şekilde oluşturulması için iyi yapılandırılmış bir organizasyon gerekmekteydi (Ganatra, 2017:4). ITU kapsamında, 3GPP (3rd Generation Partnership Project - 3. Nesil Ortaklık Projesi), mobil sistemler için küresel olarak uygulanabilir standartlar, teknik şartnameler ve teknik raporlar üretmek üzere kurulmuştur. Üçüncü nesil ortaklık projesi (3GPP), ana çerçevesi ITU tarafından sürümler aracılığıyla tanımlanan sistemlerin standartlarını belirlemektedir (Agarwal vd., 2019:35).

3GPP, IMT-2000 (International Mobile Telecommunication-2000) standardını karşılayan bir mobil sistem tanımlayarak çalışmaları sürdürmüştür ((Rahman ve Ahmmed,

2016: 20). IMT-2000, yüksek hızlı veri iletimi, IP tabanlı hizmetler, küresel dolaşım ve multimedya hizmetlerini hayata geçirmiştir (Seçgin, 2023: 65).

ITU-T tarafından IMT-2000 olarak adlandırılan 3G tek bir standart değildir; hepsi birlikte çalışabilen bir standartlar ailesidir. Avrupa, Asya ve Afrika gibi bölgelerde kullanılan standarda UMTS (Universal Mobile Telecommunications Standard - Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi) adı verilmiştir ve ETSI tarafından yürütülmektedir. CDMA2000 ise Amerika, Kanada, Japonya ve Kore gibi ülkelerde yaygın olarak benimsenen varyantın adıdır (Rahman ve Ahmmed, 2016: 20).

UMTS ve CDMA2000 gibi teknolojileri kullanan 3G ağları ile daha geniş bir frekans bandı kullanılarak mobil cihazlara yüksek hızlı veri erişimi sağlanmıştır. Bu gelişme sayesinde kullanıcılar mobil cihazlar üzerinden internete erişebilir ve multimedya hizmetlerinden yararlanabilir hâle gelmiştir (Safavi-Naini vd., 2005: 223).

Geliştirilmiş ağ kapasitesi, görüntülü görüşme, sohbet ve konferans görüşmeleri, navigasyon haritaları, e-posta, mobil oyun, müzik ve film gibi hizmetlerin de ilk kez sunulmasına olanak sağlamıştır (Kharel, 2022: 4). 3G teknolojileri, şebeke operatörlerinin hem gerçek zamanlı hem de gerçek zamanlı olmayan çok daha gelişmiş veri hizmetleri sunmasını sağlamıştır. 3G'nin kullanımı iletişim kurma, eğlenme ve yeni şeyler öğrenme şeklini tamamen değiştirmiştir (Safavi-Naini vd., 2005: 223).

3G teknolojisini kullanmanın bir diğer önemli faydası da kullanıcıların ses ve veri hizmetlerine aynı anda erişebilmelerini sağlamasıdır. Üçüncü nesil ağ, önemli ölçüde daha fazla güvenlik özelliği ve daha düşük maliyetle veri iletiminde artış ile daha geniş bir uygulama çeşitliliğini desteklemiştir Kharel, 2022: 4).

Şekil 17

Üçüncü nesil cep telefonları (Muppavaram vd., 2023:55)



3GPP'nin 99 numaralı sürümü olarak UMTS sistemleri geliştirilmiştir (Seçgin, 2023: 65). Bu sistem geniş bant CDMA kullandığı için W-CDMA olarak da anılmaktadır (Ganatra, 2017: 4). UMTS ilk zamanlarında, sabit/yürüyen kullanıcılar için 2 Mb/s ve hareketli araçlar için 384 Kb/s veri hızı sağlamıştır.

Ses iletişimi GSM sistemlerinin en temel kısmını oluştursa da, kablosuz ağlarda ve GPRS'de veri hizmetleri önemli bir belirleyici olarak ortaya çıkmıştır. Ses ve yüksek hızlı veri hizmetlerinin tek bir hizmette birleştirilmesi UMTS'nin tanımlanmasında itici güç olmuştur. UMTS, GSM üzerinde bir gelişimden ziyade devrimsel bir dönüşüm olarak görülmektedir. UMTS, GSM bileşenlerini çekirdek ağ bileşenleri olarak kullanmasına rağmen, UMTS radyo erişim ağı (UTRAN) gibi yeni gelişmeler içermektedir (Sauter, 2017: 112). GSM ile karşılaştırıldığında UMTS'deki en önemli yenilik UMTS karasal radyo erişim ağının (UTRAN) tasarlanması olmuştur. UTRAN tasarlanırken temel bileşenler GSM'den alınmış olsa da terminolojide bazı değişiklikler yapılmıştır. 2G'de baz alıcı-verici istasyonu ve baz istasyonu kontrolörü olarak adlandırılan yapılar literatüre sırasıyla "Node-B" ve "Radio Network Controller" olarak girmiştir. Ayrıca mobil cihazlar mobil istasyon (MSs) olarak adlandırılırken, bu cihazlar kullanıcı cihazı(UE) olarak adlandırılmıştır (Seçgin, 2023: 66).

Daha önceki mobil iletişim teknolojileri "Frekans Bölmeli Dubleksleme (FDD)" kullanarak yalnızca eşleştirilmiş spektrumda (ağdan cihaza ve cihazdan ağa bağlantılar için ayrı spektrum) çalışmak üzere tasarlanmışken, 3G aynı zamanda "Zaman Bölmeli Dubleksleme (TDD)" kullanarak eşleştirilmemiş spektrumu hedefleyen mobil teknolojilerin ilk tanıtımına sahne olmuştur (Dahlman vd., 2023: 1). Ayrıca 2G'de kullanılan zaman ve frekans çoğullama erişimi (TDMA, FDMA) yöntemleri 3G'de yerini Geniş Bant Kod Bölmeli Çoğullama Erişimi (WCDMA) yöntemine bırakmıştır. Bu sayede kullanıcı başına 384 kbps downlink hızlarına ulaşılmıştır. Bu hız değerleri mobil cihazın dolaşımına göre (örneğin bir araç içinde) değişmektedir. Saatte 120 km hız için 384 kbps hız verilmektedir. Picocell'lerde indirme hızı 10 km/s için 2 Mbps'ye kadar çıkabilmektedir. 3GPP Sürüm 4 ile UMTS radyo erişim standartları belirlenerek UMTS bahsi geçen hızlara ulaşmıştır. 3GPP Sürüm 4'te, devre anahtarlamalı 64 kbps zaman dilimlerini, İnternet protokolü (IP) ve paket anahtarlamalı iletişim yöntemleri ile değiştirilmiştir (Seçgin, 2023: 66). Bununla birlikte 3GPP Sürüm 4 ile IP'nin etkin kullanımı da sağlanmıştır (Ganatra, 2017:5).

Dördüncü nesil ağlara doğru gelişen 3G teknolojileri; UMTS/CDMA2000 (3G), HSDPA (3.5G), HSUPA (3.75G), HSPA+ (3.8G) ve LTE (long term evolution - 3.9G) olarak sıralanmaktadır (Penttinen, 2015: 59).

UMTS (Universal Mobile Telecommunications Standard - Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi): 3GPP tarafından geliştirilen küresel IMT-2000 standardının bir parçasıdır. En yaygın kullanılan erişim modu W-CDMA'dır. UMTS'nin temel yapısı radyo erişim ağı, çekirdek ağ ve USIM kartları ile kimlik doğrulamayı içermektedir. UMTS, veri aktarımında yüksek hızlar sunarak mobil geniş bant iletişiminde öncü niteliğindedir (Indiver, 2017: 425). HSPA ile yüksek kaliteli mobil genişbanta doğru ilk gerçek adım atılmıştır (Chapman vd., 2014:9).

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access -Yüksek Hızlı Paket İndirme Erişimi): 3.5G olarak da bilinen bir teknolojidir. 3GPP Sürüm 5 ile HSDPA standardı getirilmiştir. HSDPA ile aşağı bağlantı kapasitesi 1.8-14.4 Mbps aralığına yükseltilmiştir (Seçgin, 2023: 67). Söz konusu hızlar, HSDPA ile uyarlanabilir modülasyon ve kodlama, çoklu giriş çoklu çıkış (MIMO) ve hibrit otomatik tekrar isteği ve hızlı zamanlama uygulanarak elde edilmiştir. HSDPA, özellikle yüksek hızda internete erişim ve video akışı gibi uygulamalarda performansı iyileştirmektedir (Indiver, 2017: 426).

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access - Yüksek Hızlı Paket Çıkış Erişimi): HSDPA ile birlikte çalışarak yukarı bağlantı (uplink) veri hızlarını artıran bir teknolojidir. 3.75G olarak da bilinmektedir. 3G'nin ilk sürümlerinde uplink hızını 1.4 Mbit/sn'ye çıkarırken, sonraki sürümlerle 5.8 Mbit/sn'ye kadar çıkan hıza olanak tanımıştır. Bu teknoloji ile kullanıcılar, mobil e-posta, gerçek zamanlı oyunlar ve video yükleme gibi veri odaklı işlemleri daha hızlı gerçekleştirebilmektedirler (Indiver, 2017: 426).

HSPA+ (Evolved High Speed Packet Access - Gelişmiş HSPA): 3GPP Sürüm 6 ile HSPA+ (3.8G) teknolojisi tanımlanmış ve yukarı bağlantı hızı 5.76 Mbps'ye çıkarılmıştır (Seçgin, 2023: 67). Bu sürümde aynı zamanda "Yayın (broadcast)" hizmetleri için MBMS (Multimedya Yayın Çoklu Yayın Hizmeti) tanıtılmıştır (Ganatra, 2017: 5).

3GPP'nin sürüm 7 standardıyla beraber önceki 3G teknolojilerine kıyasla 3-5 kat daha hızlı veri aktarımı sunmuştur. Yine 3GPP Sürüm 7 ile çoklu giriş çoklu çıkış (MIMO) ile birçok anten aynı anda kullanılabilmektedir. MIMO teknolojisi ve 64QAM modülasyonu ile aşağı bağlantı (downlink) hızını 42 Mbit/sn'ye, yukarı bağlantı (uplink) hızını ise 22 Mbit/sn'ye kadar çıkarmıştır. HSPA+, aynı zamanda daha güçlü bir altyapıya ve geniş cihaz ekosistemine sahiptir, bu da daha hızlı ve kesintisiz mobil internet deneyimi sunmaktadır (Pearson, 2012).

Her ne kadar 3G, birçok konuda öncü olarak kabul edilse de, hızla artan veri talebi ve mobil uygulamaların karmaşıklığı, 3G'nin yetersiz kalmasına neden olmuştur. Dördüncü nesil teknolojisinin gelişmesi, bu sınırlamaların üstesinden gelmek için bir gereklilik hâline

gelmiştir. Ancak 3G, özellikle gelişmekte olan ülkelerde hâlâ temel mobil bağlantı aracı olarak kullanılmaya devam etmektedir.

3.4. Dördüncü Nesil (4G)

Birinci nesil (AMPS, NMT, TACS) ve ikinci nesil (GSM, IS-136, IS-95) haberleşme sistemleri ses merkezliydi. Ses ile mobil genişbant arasında bir geçiş olarak değerlendirilen üçüncü nesil (UMTS, HSPA, CDMA2000) iletişim sistemleri ile kullanıcılar artık veri tabanlı haberleşme ile tanışmışlardır Geniş bant internetin 3G sistemleriyle birlikte kullanılmasının ardından veri tabanlı sistemlere olan ihtiyacın artması paket anahtarlama (IP tabanlı) sistemlerine geçişi hızlandırmıştır. 3.5G olarak da bilinen HSPA versiyonları ile megabit seviyesindeki hızlarla ağa bağlı bir toplum oluşturmaya doğru hareket başlamıştır. 4G sistemleri ise tamamen paket tabanlı ağ uygulamaları ve mobil genişbanta dayalı hem kullanıcı hem de ağ düzlemlerinde gelişim göstermiştir(Seçgin, 2023: 72).

4G mobil ağlarının gereksinimleri doğrultusunda, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Radyokomünikasyon Sektörü (ITU-R) tarafından yayınlanan IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced) çatı standarttır. ITU-R, IMT-Advanced için daha kapsamlı bir gereksinim kriterleri listesi hazırlamıştır. Ana gereksinimlerden bazıları şunlardır (ITU-R, 2008):

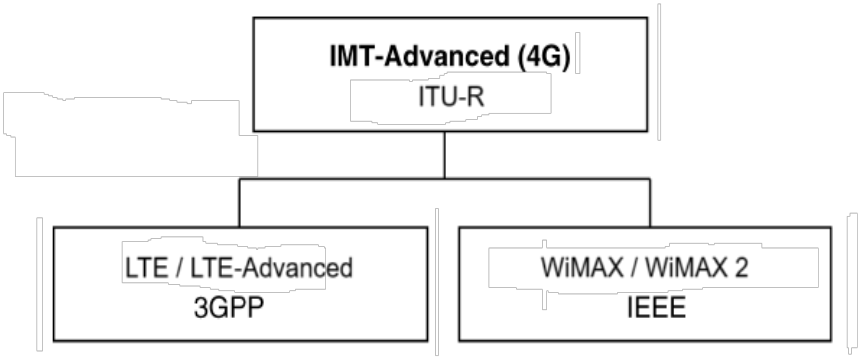
- Gelişmiş tepe veri hızları: Aşağı bağlantı yönünde düşük mobilite senaryoları için 1 Gb/sn ve yüksek mobilite senaryoları için 100 Mb/sn;
- Çok çeşitli yerel hizmetleri ve uygulamaları uygun maliyetli bir şekilde destekleme esnekliği ile birlikte dünya çapında yüksek derecede ortak işlevsellik;
- IMT ve sabit ağların hizmet uyumluluğu;
- Diğer radyo sistemleri ile uyumluluk kabiliyeti;
- Yüksek kaliteli mobil hizmetler;
- Küresel bir ortamda kullanışlı kullanıcı ekipmanı;
- Kullanıcı dostu uygulamaların, hizmetlerin ve ekipmanların sağlanması;
- Küresel dolaşım.

IMT-Advanced gereksinimlerini karşılamak amacıyla 4G standardizasyonu için iki girişim bulunmaktadır: 3GPP tarafından geliştirilen LTE ve IEEE tarafından önerilen WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Her iki gelişme de performans ve teknoloji kullanımı açısından pek çok ortak noktaya sahiptir. Bu standartlar, 4G öncesi sürümlerinin (WiMAX için IEEE 802.16e ve LTE için 3GPP sürüm 8) ortaya

çıkmasıyla başlamış ve 4G sürümlerinin (IEEE 802.16m'ye dayalı WiMAX 2.0 ve Sürüm 10 tarafından standartlaştırılan LTE- Advanced) ortaya çıkmasıyla devam etmiştir (Holma ve Toskala, 2018: 488; Yang vd., 2015: 2).

Şekil 18

ITU-R tarafından onaylanan 4G sistemleri (Penttinen, 2016: 8)



2008-2009 yılları arasında WiMAX sabit geniş bant kablosuz erişim için kullanılırken, LTE 4G kablosuz sistemler için evrensel bir standart hâline gelmiştir (Seçgin, 2023: 75). Tablo 4, WiMAX ve LTE teknoloji arasındaki farkı göstermektedir.

Tablo 4

WiMAX ve LTE arasındaki farklar (Yadav, 2017: 2)

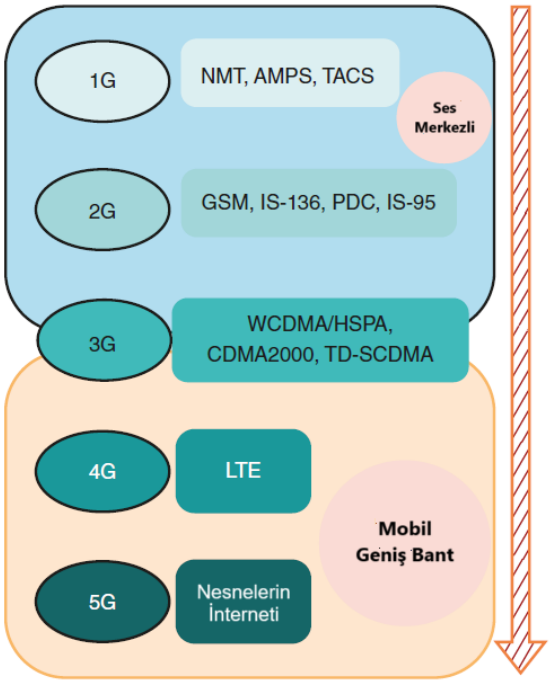
Özellik	**WiMAX**	**LTE**
Standart temeli	IEEE & WiMAX	3GPP
Tepe veri hızı	DL: 75Mbps UL: 25Mbps	DL: 100Mbps UL: 50Mbps
Hücre yarıçapı	2-7 Km.	5 Km.
Spektral verimlilik	3.75 bit/sn/Hz	5 bit/sn/Hz
Mobilite	120 km/saat	350 km/saat

WiMAX (IEEE 802.16) standardı 1999 yılında kurulmuştur. WiMAX ağı, Kablosuz MAN standartları olarak adlandırılan bir metropol alan veri erişimi sağlamayı amaçlayan bir dizi standart yayınlayan IEEE tarafından standartlaştırılmıştır. IEEE 802.16e 2005 yılında Mobil WiMAX olarak bilinen standardın temelini oluşturmuştur. Mart 2011'de IEEE 802.16m standartlaştırılarak WiMAX 2 için kabul edilmiştir (Penttinen, 2015: 529).

Artan kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamakta zorlanan UMTS sistemlerinin yerine 3GPP organizasyonu 2010 yılı civarında, dördüncü nesil (4G) mobil iletişim LTE yapısını duyurmuştur. LTE sayesinde dünya mobil iletişim için tek bir küresel teknolojide birleşmiştir (Şekil 19) (3GPP,2022; Dahlman vd., 2016: 7).

Şekil 19

Ses tabanlı sistemlerden ağ bağlantılı sistemlere gelişim (Seçgin, 2023: 74)



4G teknolojisi kablolu ve kablosuz sistemlerin yakınsaması üzerine inşa edilmiş ve her yerde mobil multimedya hizmetleri sunmak için hayata geçirilmiştir. 4G mobil teknolojisi, sunucu veya veri alıcısı saatte 60 km/s hızla hareket ederken bile 100Mbps'ye kadar yüksek hızlı veri aktarımı sağlayabilmektedir. Tüm bu hızlarda uçtan uca hizmet kalitesi (QoS) gereksinimlerini de sağlamaktadır. IP telefon, ultra geniş bant internet erişimi, oyun hizmetleri ve yüksek çözünürlüklü TV (HDTV) gibi hizmetler kullanıcılara sunulan hizmetlerdir (Seçgin, 2023: 71).

Şekil 20

Dördüncü nesil mobil cihazlar (Muppavaram vd., 2023:56)



4G ağları IP (İnternet Protokolü) mimarisini kullanarak gecikme süresini azaltırken veri hızlarını da artırarak önemli bir veri çıkışı sağlamaktadır. Bu gecikme süreleri ve hızları ile makineden makineye (M2M) bağlantı, Nesnelerin İnterneti (IoT), sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır (Curwen ve Whalley, 2021: 22). 4G, geniş bir alan içinde hareket hâlindeyken bile kesintisiz internet erişimine olanak tanımaktadır. Tüm bu getirilerinin yanında ağın ana avantajı, paket anahtarlamayı desteklemesi ve ses/verileri geriye dönük uyum sağlayarak 3G ve 2G'ye kolayca devredebilmesidir (Mishra, 2010: 143).

4G için belirlenen hedef, güvenli bir bağlantı ile hızlı, ucuz, kesintisiz ve kaliteli internet sağlamaktı. 3G interneti çeşitli teknolojilerle sağlayabilmektedir ancak farklı ağlar arasında birlikte çalışabilirlik söz konusu olduğunda geride kalmaktadır. Dördüncü nesil (4G), 3G'nin sınırlamalarının üstesinden gelmek için bir gelişmedir. Bant genişliğini artırarak kaynak maliyetini de azaltmaktadır (Gawas, 2015: 3131).

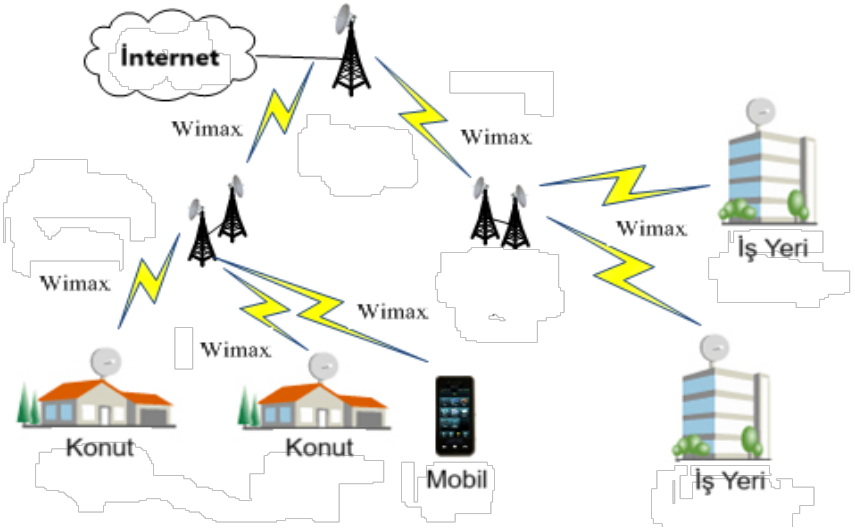
4G altyapısı, genellikle eNodeB'ler olarak adlandırılan LTE baz istasyonlarından oluşmaktadır. Bu baz istasyonları sayesinde 4G, bir yerden başka bir yere hareket hâlindeyken bile kesintisiz bağlantıya olanak tanıyarak internete erişebilmektedir. Bu yeni yapıyla birlikte 3G'de kullanılan çekirdek ağ mimarisi de büyük ölçüde değiştirilmiştir. Geliştirilmiş paket çekirdeği (EPC) olarak adlandırılan bu çekirdek ağı mimarisi, veri hızları, kapasite, spektrum kullanımı ve esnek kurulum olanakları sağlamaktadır (Dahlman vd., 2016: 103). Ticari olarak 2009 yılında kullanılmaya başlanan bu sistem ile 300 Mbps'ye varan hızlara ulaşılmıştır. Anten teknolojilerindeki gelişmeler, çoklu saha koordinasyonu, makine haberleşmesi gibi kavramlar hızla yaygınlaşmaya başlamıştır (Condoluci & Mahmoodi, 2018:9).

3.4.1. WiMAX Standardı

WiMAX sistemi, IEEE 802.16 kablosuz erişim ağı standartları ailesine aittir. Mikrodalga Erişimi için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik anlamına gelen WiMAX, noktadan çok noktaya bağlantılardan taşınabilir ve tamamen mobil internet erişimine kadar çeşitli iletim modlarını kullanarak verilerin kablosuz ve geniş bant üzerinden iletimini sağlayan bir telekomünikasyon teknolojisidir (Penttinen, 2015: 897).

Şekil 21

WiMAX mimarisi (QS Study, n.d.)



Mobil WiMAX (IEEE 802.16e), sabit WiMAX ile birlikte çalışabilir kalırken ona hareketlilik sağlayan sürümdür (Nevres vd., 2010: 757). Amacı, mobil abonelerin bir hücreden diğerine geçerken sürekli bir iletişime sahip olmalarını sağlamaktır. Bu ağ, 2 ila 6 GHz frekans bantlarında çalışır ve kullanıcılar ideal koşullar altında, yani engellerin olmadığı durumlarda, ağ kapsamı altında hareket ederken 150 km/s hıza kadar bağlantıyı korumaktadır. IEEE 802.16e, 3,5 km'den daha az bir kapsama alanı üzerinde 30 Mb/s'ye kadar veri iletim hızları sağlar.

Fiziksel bir arayüz olarak IEEE 802.16e, modülasyon tekniği olarak Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) ve erişim yöntemi olarak Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA) kullanır. WiMAX'ın mobil versiyonu, kullanıcı ortamına (kırsal veya kentsel alan) bağlı olan bir menzil ve akışlarla maksimum 120 km / s hızla hareket eden mobil terminaller için bazı QoS sunan bir teknolojidir. Ayrıca, WiMAX birden fazla frekans bandı ve farklı kullanım oranları ile karakterize edilmektedir (Ahmadi, 2009: 92; Nevres vd., 2010: 753).

WiMAX'in özellikle yoğun kullanım alanlarında veri hızının önemli ölçüde düşmesi kullanıcı deneyimini olumsuz etkileyerek teknolojinin tercih edilmesini zorlaştırmıştır. Bununla birlikte, WiMAX altyapısının kurulması ve işletilmesi, LTE gibi rakip teknolojilere göre daha yüksek maliyetler gerektiriyordu. Öte yandan, LTE teknolojisinin hızla gelişerek daha yüksek hızlar, daha düşük gecikme süresi ve daha geniş kapsama alanı gibi avantajlarla sunduğu performans, WiMAX'i geride bırakmıştır. WiMAX'ın kullanımı oldukça azalmıştır (Goldstein, 2015).

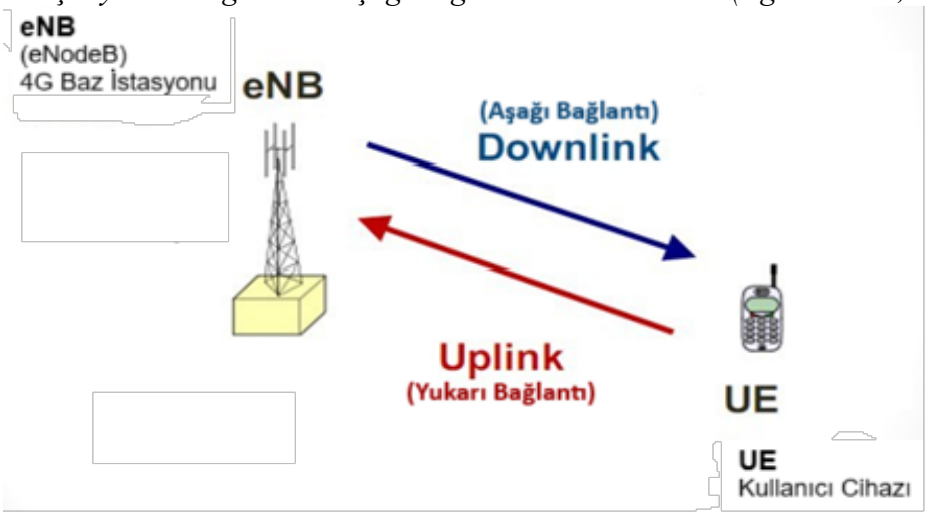
3.4.2. LTE Standardı

LTE (Long Term Evolution – Uzun Süreli Gelişim) teknolojisi 3GPP tarafından yürütülmüş bir projedir. Üstün bir çağrı sayısı ve daha düşük bir gecikme süresi ile çok yüksek hızlı bilgi aktarımına izin vermektedir. Genel olarak, LTE sistemi erişim süresini kısaltmayı, bant genişliğini esnek bir şekilde kullanmayı ve mevcut sistemlerle birlikte çalışmayı amaçlamıştır.

Teorik olarak, yukarı bağlantıda ve aşağı bağlantıda sırasıyla yaklaşık 50 ve 100 Mbps'lik akışlara ulaşmak mümkündür. Bu değerler 120 ile 350 km/saat arasında değişen hızlarda sağlanmaktadır. Ayrıca, genişliği 1.4 MHz ile 20 MHz arasında değişebilen Hertzian dalga bantlarını kullanır, böylece 300 Mbit/s'ye ulaşabilen teorik bir ikili akış elde etmeyi mümkün kılmıştır (Nguyen vd., 2016: 4).

Şekil 22

LTE ağları için yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı isimlendirmesi (Agarwal vd., 2019:35)



LTE, HSPA'nın adımlarını takip ederek daha yüksek verimlilik, daha yüksek veri hızları ve daha düşük gecikme süresi sağlayarak mobil geniş bant deneyimini geliştirmiştir. Bu, daha geniş iletim bant genişlikleri ve daha gelişmiş çoklu anten teknolojileri kullanan OFDM tabanlı bir iletim teknolojisi aracılığıyla sağlanmıştır. Ayrıca 3G, eşleştirilmiş spektrumda kullanılandan farklı bir radyo erişim teknolojisi aracılığıyla eşleştirilmemiş spektrumda mobil iletişime izin verirken, LTE hem FDD hem de TDD çalışmayı, yani aynı radyo erişim teknolojisi içinde hem eşleştirilmiş hem de eşleştirilmemiş spektrumda çalışmayı desteklemiştir (Dahlman vd., 2016: 14).

LTE, OFDM ve MIMO teknolojilerinin kullanımı ve yeni bir Sistem Mimarisi Evrimi (SAE) açısından 3G'den farklıdır (Moller ve Kurner, 2015: 30). SAE esasen 3G mimarilerine göre gelişmiş veri kapasitesi, tamamen IP mimarileri, azaltılmış gecikme süresi ve azaltılmış işletme ve sermaye maliyetleri gibi farklı avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca, telekomünikasyon operatörleri, bu standart sayesinde, uygulama (ses, internette gezinme, IP televizyon, isteğe bağlı video, vb.) ne olursa olsun hareket hâlindeyken çok yüksek akış teklifleri geliştirebilmiş ve sunabilmiştir (Moller ve Kurner, 2015: 30).

LTE, aşağı bağlantı için 5 bit/s/Hz spektral etkinliği garanti eden bir erişim tekniği olarak OFDMA ve yukarı bağlantı için 2,5 bit/s/Hz spektral etkinlik sunan "Tek Taşıyıcılı FDMA (SCFDMA)" kullanmaktadır (Moller ve Kurner, 2015: 30; Nguyen vd., 2016: 4).

LTE özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir (Türker, 2010: 15):

- Aşağı bağlantı tepe veri hızları 20 MHz bant genişliği ile 326 Mbps'ye kadar.
- Yukarı bağlantı, 20 MHz bant genişliği ile 86,4 Mbps'ye kadar pik veri hızları.
- Hem TDD hem de FDD modlarında çalışma.
- Çalışma aşamasında 1,4; 3; 5; 10; 15 ve 20 MHz'i kapsayan 20 MHz'e kadar ölçeklenebilir bant genişliği.
- 3GPP Sürüm 6 ile yayınlanan HSPA'ya göre spektral verimlilikte 2 - 4 kat artış.
- Kullanıcı ekipmanı ve baz istasyonu arasında 10 ms gidiş-dönüş süresine ve inaktif durumdan aktif duruma geçiş süresinin 100 ms'den az olmasına kadar azaltılmış gecikme süresi.

3.4.3. LTE-Advanced (LTE-A) Standardı

Gerçek 4G olarak kabul edilen LTE-Advanced teknolojisi, 3GPP Sürüm 10'da yer almış LTE standardının daha gelişmiş varyantıdır. LTE spesifikasyonundaki değişikliklerin düzeltmeler ve hata düzeltmeleri ile sınırlı olduğu olgun bir duruma gelmiştir (Türker, 2010:

15). Bu nedenle, yukarı bağlantı için 300 Mb/sn ve aşağı bağlantı için 1 GB/sn'lik bir akışa izin vermesi, bant genişliğinin yaklaşık 100 MHz olması ve saatte 500 km'ye ulaşan bir hareketliliği desteklemesi dışında LTE normuyla neredeyse aynı özelliklere sahiptir.

LTE-A sistemi aşağı bağlantı için OFDMA ve yukarı bağlantı için SC-FDMA kullanır. Ayrıca gelişmiş bir anten tekniği olarak MIMO (4*4, 8*8) kullanmaktadır (Moller ve Kurner, 2015: 30; Nguyen vd., 2016: 4).

LTE-Advanced teknolojisi, yalnızca daha yüksek hızlar sunmakla kalmayıp, aynı zamanda taşıyıcı birleştirme özelliği sayesinde farklı frekans bantlarını eşzamanlı olarak etkili bir şekilde kullanma imkânı da sağlamaktadır (Gülşen, 2013: 32).

4G, yüksek hız ve düşük gecikme süreleri gerektiren uygulamaların artan taleplerini karşılayamadığı, aynı anda daha fazla cihaz bağlantısını desteklemede yetersiz kaldığı ve enerji verimliliği sunamadığı için yeni nesil ağ için çalışmalar yapılmıştır. 5G adı verilen yeni ağ, otonom araçlar ve akıllı şehirler gibi yeni nesil uygulamaları desteklemek için gerekli olan gelişmiş altyapı ve teknolojiyi sağlarken, daha yüksek veri hızları ve düşük gecikmeler sunarak kullanıcılara hızlı ve dayanıklı internet erişimi imkânı tanımaktadır. Bu nedenlerle, 4G yerini 5G'ye bırakmak durumunda kalmıştır.

3.5. Beşinci Nesil (5G)

5G, hücresel ağların en son nesli olarak 2019'un başlarında piyasaya sürülmüştür. Önceki nesillere göre önemli bir teknolojik sıçramayı temsil etmektedir. Milimetre dalga frekanslarını (mmWave) tanıtmanın yanı sıra kapsamlı MIMO (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış) ve hüzmeleme dâhil olmak üzere en son teknolojiyi kullanmaktadır. 5G ağları muazzam veri aktarım hızları, son derece düşük gecikme süresi ve devasa cihaz bağlantısı sağlamak için düşük, orta ve yüksek bant frekanslarını kullanmaktadır. Bağlantı hızlarındaki muazzam artışla birlikte devasa bir IoT (Nesnelerin İnterneti) ekosisteminin ortaya çıkması beklenmektedir. Ağlar, hız, gecikme ve maliyet arasındaki doğru dengeyle milyarlarca bağlı cihaz için gereken iletişimi sağlayacaktır (Attaran, 2021: 5981; Shetty, 2021; Stl Partners, 2022).

5G'ye geçişte ana itici güçler:

- Video akışlarına dayalı mobil veri trafiğindeki hızlı artış,
- Her kullanıcının birden fazla cihazı olması nedeniyle artan bağlantı sayısı,
- IoT uygulamaları nedeniyle milyarlarca cihazın bağlantı ihtiyacı,
- Yoğun bağlantı ve trafik nedeniyle verimli enerji yönetimi ihtiyacı,

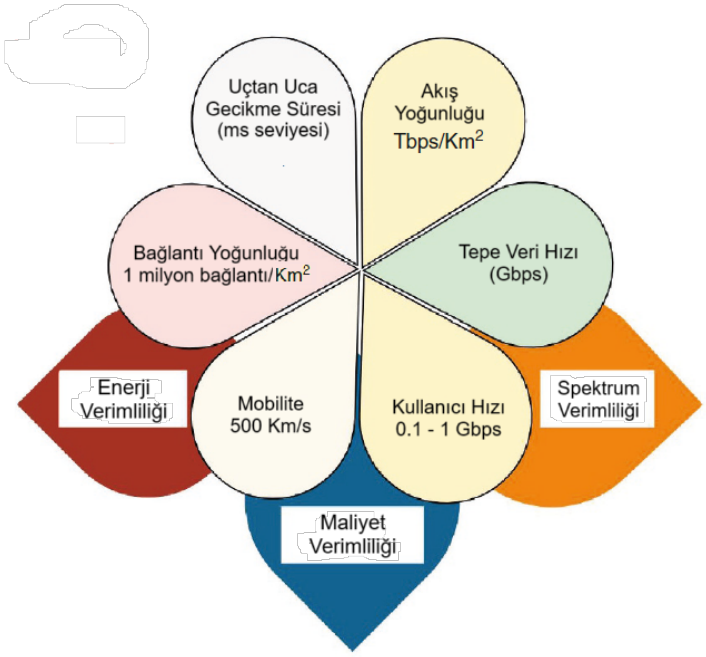
- Mobil operatörlerin işletme maliyetlerinin düşmesi ve
- Gelişen uygulamalar nedeniyle operatörler için yeni gelir fırsatları

olmuştur (Seçgin, 2023: 97).

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) 3G gereksinimleri için Uluslararası Mobil Telekomünikasyon 2000 (IMT-2000), 4G için IMT-Advanced standardını ve 5G gereksinimleri için IMT 2020'yi tanımlamıştır (Dahlman vd., 2016: 4). 5G teknolojisi için IMT 2020 vizyonu, minimum 1 ms gecikme süresi içinde 50 Gbps'lik en yüksek veri hızı sınırını belirlemiştir (Rappaport vd., 2013). Chinese Mobile tarafından ortaya konan ve ITU tarafından kabul edilen "5G Çiçeği" şekli (Şekil 23) ile 5G temel iş göstergeleri ifade edilmektedir (Li vd., 2020: 13):

Şekil 23

5G çiçeği (Seçgin, 2023: 98)



Taç Yapraklar (5G'nin altı performans göstergesi):

- 4G'ye kıyasla 100 kat (0,1-1 Gbps) kullanıcı hızı.
- Çok daha yüksek bağlantı yoğunluğu (1 milyon/km^2).
- Azaltılmış arayüz gecikmesi (4G-1 ms'nin beşte biri).
- 4G'nin 4 kat hızlandırılmış mobilitesi (500+ km/s).
- 4G'nin en yüksek hızının yaklaşık 20 katı (10-20 Gbps).
- Yüksek akış yoğunluğu (10-100 Tbps/km).

Çanak Yapraklar (üç ayrı verimlilik göstergesi):

- Enerji verimliliği.
- Maliyet verimliliği.
- Spektrum verimliliği.

ITU Radyokomünikasyon Sektörü (ITU-R), IMT-2020 ve ötesi sistemler için yayınladığı ITU-R M.2083 dokümanında üç temel kullanım senaryosu öngörmüştür: gelişmiş mobil geniş bant (eMBB), yoğun makine tipi haberleşme (mMTC) ve aşırı güvenilirlikli ve düşük gecikmeli haberleşme (uRLLC). Bu senaryolar ve ilgili uygulamalar Şekil 24'te verilmiştir (Dahlman vd., 2023:15).

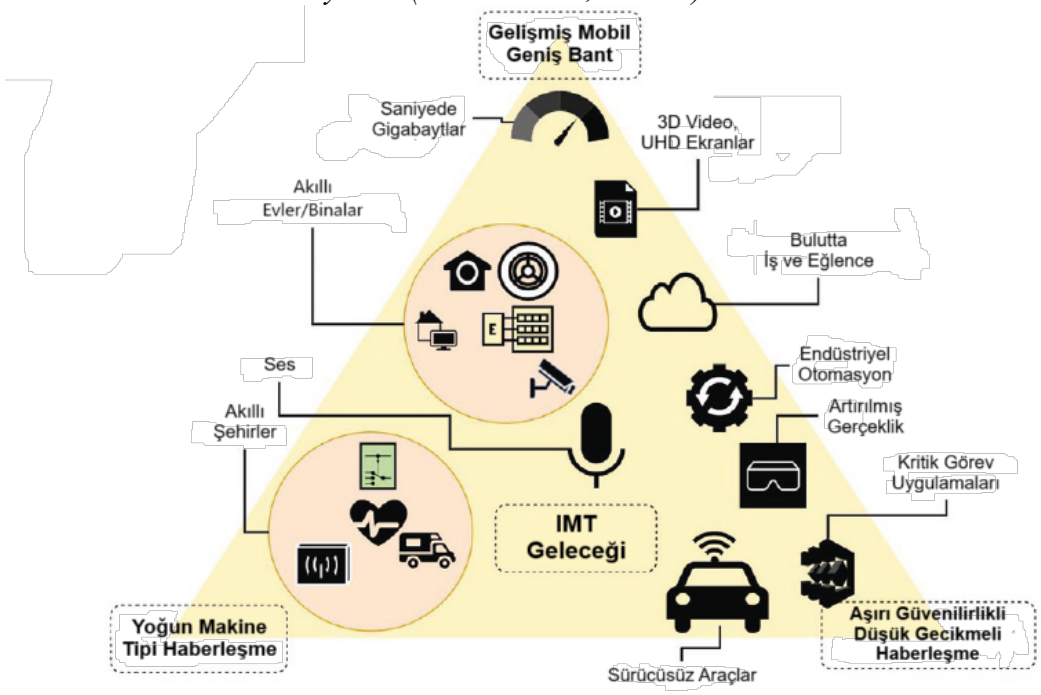
Gelişmiş Mobil Geniş Bant (eMBB): Önemli ölçüde artan veri hızları ile başa çıkmak, yüksek kullanıcı yoğunluğu ve çok yüksek trafik kapasitesi sağlayacak hotspot senaryolarını desteklemek ve yüksek mobilite olanakları ve kesintisiz kapsama alanı sağlamak için oluşturulan senaryodur.

Yoğun Makine Tipi Haberleşme (mMTC): Düşük güç ve düşük veri hızları gerektiren IoT sistemlerine çok sayıda cihazın bağlanmasını ifade etmektedir.

Aşırı Güvenilirlikli ve Düşük Gecikmeli Haberleşme (uRLLC): Güvenlik ve görev açısından kritik uygulamaların altyapısını sağlamaktadır.

Şekil 24

IMT-2020 kullanım senaryoları (Dahlman vd., 2023:1)



Otonom araçlar, akıllı şehirler/binalar, sanal/artırılmış gerçeklik ve benzeri uygulamalar için altyapı sağlayacak olan 5G ile dünyada, söz konusu ihtiyaç ve gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanmış neredeyse tüm cihazların birbirine bağlı olduğu geniş bir iletişim ekosistemi kurulacaktır (ETSI, 2022).

Daha önce çeşitli kurumlar tarafından yapılan konsept çalışmalara rağmen, 5. Nesil mobil haberleşme teknolojisine dair yoğun tartışmalar ilk kez 2012 yılında başlamıştır. 5G'nin tanımlandığı ilk sürüm olan 3GPP Sürüm 15'in ilk bölümü 2017'nin sonunda, tam sürümü ise 2019'un ortasında yayınlanmıştır. 2019'un başlarında, özellikle Uzak Doğu ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bazı operatörler, ilk 5G hizmetlerini sunmaya başladıklarını duyurmuşlardır. 5G hücresel ağı kademeli olarak birkaç ülkede konuşlandırılmaktadır ve diğer birçok ülke de bu küresel gelişime katılmaktadır. Dünyanın iki büyük ekonomisi olan Amerika Birleşik Devletleri ve Çin, en çok 5G şehrine sahip olan ülkeler olarak başı çekmektedir. Sadece 2021 yılında, neredeyse günde iki tane olmak üzere 635 yeni 5G şehri eklenmiştir (Kharel, 2022: 6)

Frekans ihalelerinin gerçekleştirilmesi ve 3GPP'nin standardizasyon çalışmalarının hız kazanmasıyla birlikte, dünyanın birçok bölgesinde daha kurulumlar yapılmış ve 5G hizmetleri kullanıcılara sunulmaya başlanmıştır. GSA (Global Mobile Suppliers Association) verilerine göre, Ağustos 2021 itibarıyla, 72 ülkede 176 operatör, 3GPP standartlarına uygun 5G şebekesi kurduğunu açıklamıştır. Ayrıca, GSA, piyasada satışa sunulmaya hazır 600'den fazla 5G kullanıcı ekipmanının mevcut olduğunu belirtmektedir. Bu teknolojinin, başlangıçta kalabalık şehir merkezlerinde devreye girmesi planlanmaktadır ve 2025 yılı itibarıyla geniş bir alanda yaygınlaşması beklenmektedir (Aselsan, 2022).

Artan veri kapasitesi ve kapsama alanı gereksinimlerini karşılamak için 5G altyapısı, geniş bir baz istasyonu ağına ek olarak küçük hücrelerin konuşlandırılmasını gerektirmektedir. Bu baz istasyonları tarafından sinyallerin hem iletiminde hem de alımında hüzmeleme kullanılmaktadır. Bu, sinyalin gücünü en üst düzeye çıkarırken aynı zamanda paraziti en aza indirmeye yardımcı olur (Muppavaram vd., 2023: 56). 5G, hem optik hem de kablosuz teknolojilerin güçlü yanlarından yararlanacaktır. 5G, yazılım Ağ İşlevleri Sanallaştırması (NFV) ve Yazılım Tanımlı Ağ (SDN), IoT, IoE ve Mobil İçerik Dağıtım Ağları (CDN) tarafından yönlendirilecektir (Ganatra, 2017: 7). 5G mobil sistemi, kablosuz ve mobil ağların birlikte çalışabilirliği için tamamen IP tabanlı bir modeldir. Terminallerin her birinde, radyo erişim teknolojilerinin her biri dış internet dünyasına IP bağlantısı olarak görülmektedir (Rahman ve Ahmmed, 2016: 28).

3.5.1. 5G'de Kullanılan Teknolojiler

5G'nin sunduğu hız artışı ve düşük gecikme sürelerini sağlamak amacıyla, çeşitli bağımsız teknolojiler bir araya getirilmiştir. 5G teknolojisinin bazı önemli yönleri şu şekildedir:

3.5.1.1. 5G Spektrumu

Spektrum, iletişim için mobil endüstriye tahsis edilen ve bilgiyi kablosuz olarak taşımak için kullanılan radyo frekanslarıdır. 5G ağları, geniş bir frekans aralığında spektrum verimliliğini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Lin ve Lee, 2021: 12).

5G, milimetre dalga (mmWave) bantlarında çalışarak en yüksek hızlara ulaşabilen ilk mobil iletişim standardıdır. 5G, eski mobil teknolojiler tarafından kullanılan mevcut spektrumun yanı sıra hücresel kullanım için tanımlanan yeni frekans bantlarını da etkin bir şekilde kullanabilmektedir. 5G, kullanım alanlarına bağlı olarak çalışmak için kapsama alanı, veri hızı ve gecikme süreleri açısından farklı avantajlar sunan düşük bant, orta bant ve yüksek bant spektrumunun bir karışımını kullanmaktadır (Lin ve Lee, 2021: 12).

Düşük Bant Spektrumu: 1 GHz altındaki frekanslarda çalışan bu bant, 20 MHz kanal genişliği sunmaktadır. Geniş alan ile derin iç mekân kapsama alanının uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Düşük bantlar geniş alan ağlarında çok güvenilirdir ve kritik iletişimler için kullanılabilmektedir. Mevcut kablosuz ağların çoğu bu bant üzerine kuruludur (Lin ve Lee, 2021:12). Bu aralıkta bulunan 600 MHz ve 700 MHz bantları, 4G'den 5G'ye geçiş aşamasında kullanılacak başlıca frekanslar olarak kabul edilmektedir (OECD, 2019: 22).

Orta Bant Spektrumu: 1-7 GHz aralığında 50-100 MHz bant genişliğini kullanmaktadır. Birçok ülke, 3.4-3.8 GHz bandını 5G için öncelikli olarak belirlemiştir (OECD, 2019: 22). Orta bant, yüksek kapasite, yüksek veri hızı, düşük gecikme süresi ve geniş kapsama alanı sunmaktadır. Hem düşük banttan daha hızlıdır hem de yüksek banttan daha geniş bir kapsama alanına sahiptir. Kırsal alanlarda ve küçük şehirlerde kullanım için idealdir (Lin ve Lee, 2021: 12).

Yüksek Bant Spektrumu: 24 GHz üzerindeki milimetre dalga frekanslarında faaliyet gösteren bu bant, ultra geniş kapasite ile en yüksek hızları sunmaktadır. Yüksek bant, özellikle yoğun şehirlerde düşük gecikme ve yüksek verimlilik gerektiren hizmetler için idealdir, ancak kısa menzil nedeniyle geniş alan kapsaması sınırlıdır (Lin ve Lee, 2021: 12).

Bu spektrum bantları, 5G'nin küresel dağıtımında kilit rol oynayarak daha hızlı ve verimli iletişim sağlamayı hedeflemektedir.

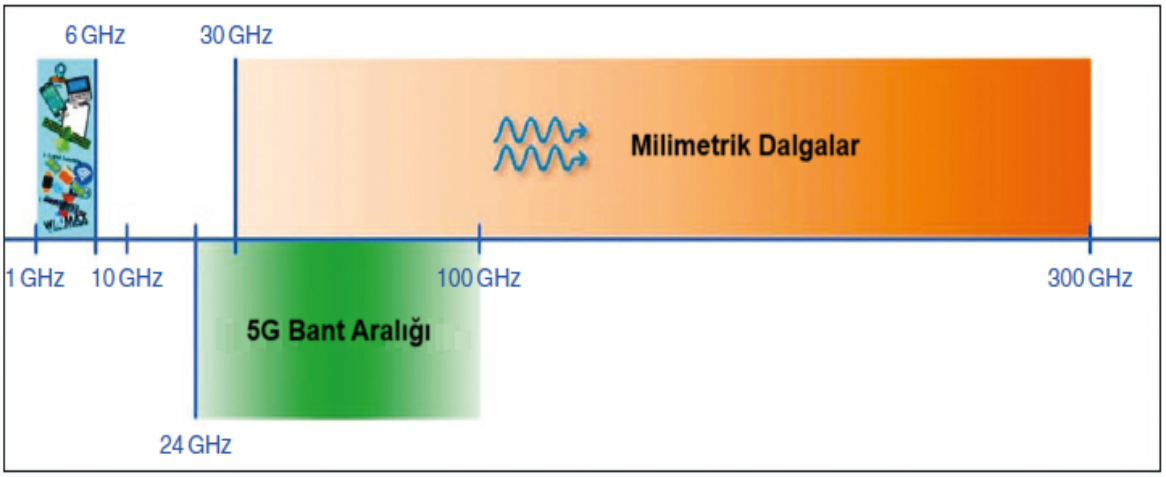
3.5.1.2. Milimetrik Dalga (mmWave) Kullanımı

30 ve 3000 GHz frekans aralığındaki sinyaller milimetre dalga (mmWave) olarak adlandırılmaktadır. "Milimeter Wave" denilmesinin sebebi, dalga boylarının 1 ile 10 milimetre arasında değişmesidir. Bu frekans bandının 4G LTE'nin kullandığı daha düşük frekanslı sinyallere göre daha fazla veri taşıma kapasitesi bulunmaktadır. Geçmişte, mmWave teknolojisi hem maliyetliydi hem de uygulaması zordu, ancak teknolojik ilerlemelerle birlikte bu teknoloji artık 5G'nin bir parçası olarak kullanılmaya başlanmıştır (Karel, 2020).

MmWave bantları yüksek frekanslarda olduğu için büyük bant genişlikleri (dolayısıyla yüksek hızlar) sağlamaktadır. Birçok teknoloji (GPS, WiFi, 3G, 4G, WiMax, L-bant uydu, S ve C bantları, vb) 1-6 GHz bandında çalışmaktadır. Ancak 30-300 GHz frekans bandı çok daha az kullanılmaktadır. Bu anlamda yeni bir alan olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle 5G için frekans aralığı olarak 24-100 GHz önerilmektedir (Seçgin, 2023: 106).

Şekil 25

mm Dalga spektrumu (Seçgin, 2023: 107)



Zayıflama hassasiyetine ve yüksek güç gerektirmesine rağmen mmWave yeni ve az kullanılan bir bantta olması, yüksek frekanslı dalgaların düşük frekanslı dalgalara göre çok daha fazla veri taşıma kapasitesine sahip olması ve kapsamlı MIMO anten yapılarını

desteklemesi gibi avantajlara sahiptir. ETSI tarafından 5G ile tanıtılan mmWave uygulama ve kullanım alanları aşağıdaki gibi verilmiştir (Seçgin, 2023: 108-109):

- *Konut ve iç mekân katmanlaması:* Bir binadaki cihazları kablosuz ekosisteme bağlamak için, erişim noktasına olan mesafenin az olması ve engellerin az olması nedeniyle 60 GHz frekansı kullanılmaktadır.
- *Cihazlar arası iletişim:* Cihazlar, mikro hücre baz istasyonunun düzenlemesi ile birbirleriyle doğrudan veri alışverişinde bulunmaktadır. 4 GHz bağlantılar çekirdek ana taşıyıcıya bağlantı sağlamaktadır.
- *Yoğun küçük hücreler:* 30 GHz frekansında çalışan hücre yapıları, Femtocell'den başlayarak makro seviyede global hücre yapısına ulaşan hiyerarşik bir düzende standart bir baz istasyonu yapısı ile yönetilmektedir.
- *Cihaz yoğunluğu:* Geniş bir aralıktaki frekans esnek olduğu için kilometrekare başına milyonlarca cihaz bağlanabilmektedir.
- *İkili bağlantı:* Mobil cihaz sisteme bağlıyken makro hücre üzerinden kontrol komutları almaktadır ve küçük hücre baz istasyonu üzerinden veri iletişimi gerçekleştirebilmektedir.
- *Kapsamlı MIMO baz istasyonu:* Yoğun bağlantı senaryolarını gerçekleştirmek için makro hücre merkezlerine onlarca anten serisine sahip baz istasyonları kurulmaktadır.

3.5.1.3. Taşıyıcı Birleştirme (Carrier Aggregation - CA) ve İkili Bağlantı (Dual Connectivity - DC)

Taşıyıcı Birleştirme (CA), birden fazla taşıyıcı frekansın aynı anda kullanılmasıyla, kullanıcılar için bant genişliğinin artırılmasını sağlamaktadır. Bu teknoloji, kıt frekans spektrumunun en iyi şekilde kullanılmasına yardımcı olmak amacıyla aynı ya da farklı frekans bantlarından alınan taşıyıcılar birleştirilerek veri kapasitesi artırılmaktadır (Grami, 2015: 520).

5G teknolojisinde, taşıyıcı birleştirme ile yüksek bant genişlikleri sağlanmaktadır. Örneğin, mmWave spektrumunda 700 MHz'e kadar yüksek bant genişliği verilebilirken, daha düşük frekanslarda (örneğin 7 GHz) dört adet 100 MHz'lik kanal birleştirilerek 400 MHz'lik bir kanal oluşturulabilmektedir. Bu sayede, 5G CA ile daha geniş frekans spektrumları birleştirilerek hız ve kapasite artırılmaktadır. 4G ile kıyaslandığında, 4G LTE-Advanced Pro'da maksimum 5 taşıyıcı birleştirilebilirken, 5G NR CA'da 16 bitişik veya

bitişik olmayan taşıyıcı birleştirilebilir, bu da toplamda 1 GHz'e kadar spektrumun birleştirilmesine olanak tanımaktadır (Qorvo, 2022).

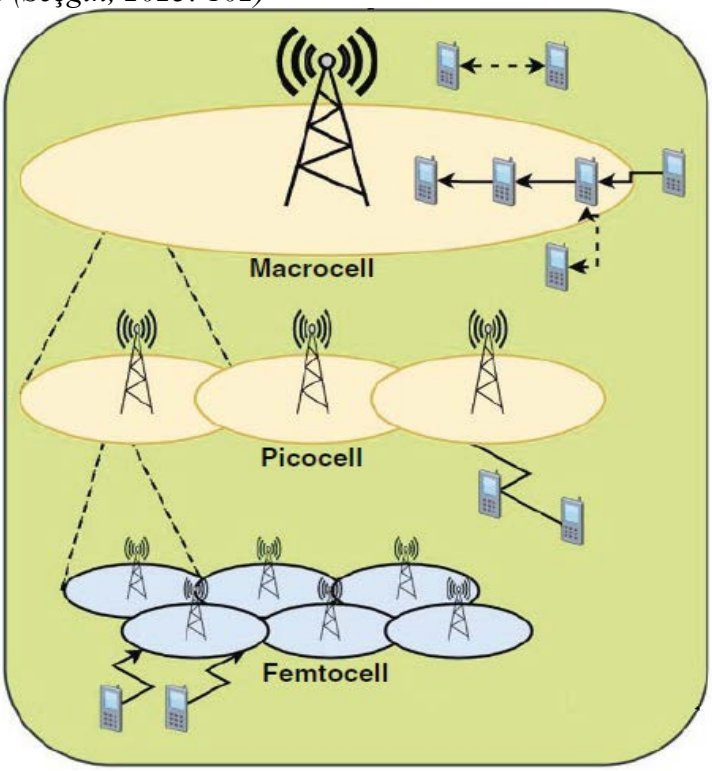
İkili Bağlantı (DC) yönteminde, 5G'nin veri kapasitesi için mmWave frekansları kullanılırken, ses iletimi gibi diğer hizmetler 4G altyapısı üzerinden sağlanmaktadır. Bu, saf 5G altyapısının bulunmadığı yerlerde, 5G avantajlarına erişimi mümkün kılmaktadır. İkili bağlantı, bir mobil cihazın aynı anda bir ana eNodeB (Ana Düğüm) ve ikincil eNodeB (İkincil Düğüm) üzerinden veri alıp iletmesini sağlamaktadır (Seçgin, 2023: 117-118):

3.5.1.4. 5G Hücre Yapısı

Artan kullanıcı sayısı ve bu kullanıcıların artan veri trafiği nedeniyle 5G ile yoğun nüfuslu yerlerde (alışveriş merkezleri, spor merkezleri, havaalanları, tren istasyonları gibi) yüksek bant genişliği kullanımı için "küçük hücre" yapısı geliştirilmiştir. Küçük hücreler, küçük coğrafi alanları kapsayan düşük güçlü, kısa menzilli kablosuz iletim sistemleridir. Küçük hücre, bir hücre bölgesini/alanını çok daha küçük parçalara bölen küçük bir baz istasyonları grubudur (Muthu ve Sambanthan, 2017: 2). Dünyadan başlayarak femtocell yapısına kadar hücre yapısı Şekil 26'da verilmiştir.

Şekil 26

5G hücre yapısı (Seçgin, 2023: 102)



4G’nin büyük anten direkleri yerine, 5G ağları, şehirde yaklaşık 250 metre aralıklarla yerleştirilen baz istasyonlarıyla çalışacak ve bu, daha küçük hücre düğümlerinin oluşmasını sağlayacaktır. 5G baz istasyonları, 4G'ye kıyasla daha az güç gerektirmektedir, bu da binalara ve çeşitli alanlara dağıtım direklerinin daha kolay kurulmasına olanak tanımaktadır (Karel, 2020). Küçük hücrelerin yaygınlaşmasıyla birlikte sağlanacak olan daha iyi erişim ve hizmet kalitesi, kullanıcı memnuniyetini hız ve kapasite açısından önemli ölçüde artıracaktır.

Küçük hücre kavramı, picocell, microcell ve femtocell yapılarını kapsayan bir terim olarak kullanılmaktadır (Seçgin, 2023: 101).

Femtocell: Ev kullanıcıları için mobil ağı genişleten küçük baz istasyonlarıdır. Femtocell, operatörden gelen sinyallerin zayıf olduğu durumlarda iyi bir çözümdür. Bu yapılar için ev baz istasyonu terimini kullanılabilmektedir.

Picocell: Genişletilmiş ağ kapsama alanı ve yüksek veri aktarım kapasitesine sahip kurumsal uygulamalar için geliştirilmiş bir çözümdür. Bağlantı şeması femtocell'e benzemektedir.

Microcell: Femtocell ve picocell'e göre daha fazla kullanıcıya hizmet vermek üzere tasarlanmış bir hücre yapısıdır. Yüksek iletim güçleri sayesinde daha geniş hücre çaplarına sahiptir. Bu yönleri ile akıllı şehirler, akıllı ulaşım vb. uygulamalar için uygun bir altyapı sağlamaktadır. Microcell’den daha geniş kapsama alanı sağlayan macrocell baz istasyonları bulunmaktadır. Hücrelerin özellikleri Tablo 5’te verilmiştir:

Tablo 5

5G hücre yapılarının özellikleri

Hücre Tipi	**Çıkış Gücü (W)**	**Hücre Yarıçapı (km)**	**Kullanıcı Sayısı**	**Kapsama**
Femtocell	*0.001–0.25*	*0.10–0.1*	*1–30*	*İç Mekan*
Picocell	*0.25–1*	*0.1–0.2*	*30–100*	*İç Mekan/Açık Hava*
Microcell	*1–10*	*0.2–2*	*1000–2000*	*İç Mekan/Açık Hava*
Macrocell	*10–50*	*8–30*	*>2000*	*Açık Hava*

3.5.1.5. Kapsamlı MIMO (Massive MIMO) ve Hüzmeleme (Beamforming)

Kapsamlı MIMO (Massive MIMO) teknolojisi, mevcut MIMO sistemlerinin gelişmiş bir versiyonudur. 4G sistemlerindeki MIMO yapısında iki veya dört antenli yapılar kullanılırken, kapsamlı MIMO ile baz istasyonlarına onlarca hatta yüzlerce anten dizisi kullanılmaktadır. Alıcı ve vericideki anten sayısı arttıkça, iletilecek sinyal yolları, veri hızı ve bağlantı güvenilirliği de artmaktadır. 4G ve daha önceki MIMO sistemleriyle karşılaştırıldığında 5G kapsamlı MIMO sistemleri parazit ve karıştırmaya karşı daha dayanıklıdır.

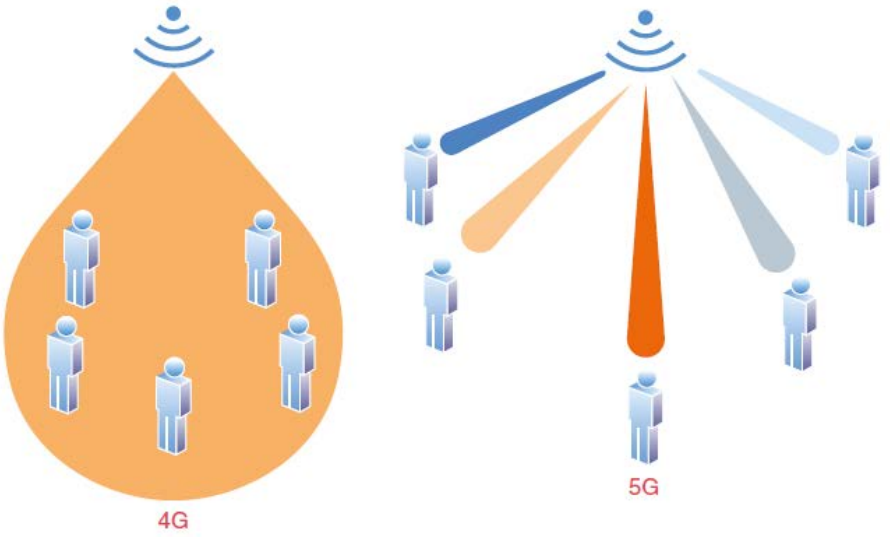
Kapsamlı MIMO, 5G teknolojileri için önemli bir kilometre taşı olarak görülmektedir. Çok kullanıcılı ve çok cihazlı ortamlara aynı anda hizmet veren kapsamlı MIMO ile yoğun kullanıcı ortamlarında yüksek veri hızları ve istikrarlı performans ölçümleri sağlanmaktadır. Bu özelliği ile 5G, özellikle IoT uygulamaları için mükemmel bir ekosistem sunmaktadır (Hanzo vd., 2012; Karel, 2020).

Kapsamlı MIMO kullanımı ile birlikte hüzmeleme üzerine de odaklanılmaktadır. Hüzmeleme teknolojisi, kablosuz sinyali geniş bir alana yaymak yerine belirli bir yöne odaklamak için hem mobil cihazlarda hem de baz istasyonlarında gelişmiş anten tekniklerini kullanmaktadır (Loghin vd., 2020:2). Başka bir ifadeyle hüzmeleme, kablosuz ağa bağlanmak isteyen cihazlara göre antenlerin sinyal dağılımını dinamik olarak değiştirdiği bir teknolojidir. Böylece, ağ kapsama alanı cihazların konumuna göre ayarlanmaktadır (Karel, 2020). Çok sayıda anten sistemi içeren kapsamlı MIMO yapısıyla birlikte kullanılan hüzmeleme sayesinde her kullanıcıya doğrudan bir sinyal gönderilmektedir. Böylece veri hızları ve ağ kapasitesi artırılarak kullanıcı deneyimi iyileştirilmektedir (Loghin vd., 2020:2).

Kapsamlı MIMO ile oluşturulan hüzmelemeyle frekans yedekleme kullanılarak spektral verimlilik de artırılmaktadır. Mevcut mobil ağlar (4G ve öncesi) hücredeki tüm kullanıcılar için tek bir "ışın" kullandığından, yoğun kullanıcı alanlarında performans darboğazları oluşabilmektedir. Kapsamlı MIMO ve hüzmeleme ile iletişim süreçleri daha akıllıca ve etkin bir şekilde yürütülerek sabit hız ve gecikme değerleri sağlanmaktadır (Newson vd., 2018). (Şekil 27). Öte yandan hüzmeleme, 5G'yi büyük ölçekte dağıtılması pahalı bir teknoloji hâline getirebilecek bir yeniliktir, çünkü her bir hücrenin herhangi bir zamanda birkaç yüz ayrı ışını desteklemesi gerekebilmektedir (Rahman, 2016: 44).

Şekil 27

Kapsamlı MIMO ve hüzmeleme (Seçgin, 2023: 115)



3.5.1.6. Ağ Fonksiyonu Sanallaştırma (NFV) ve Yazılım Tanımlı Ağlar (SDN)

Ağ fonksiyonu sanallaştırma (NFV) haberleşme ağlarının yazılım ve donanım katmanlarının ayrılmasını sağlayan bir ağ mimarisi konseptidir. NFV, geleneksel donanımların güvenlik duvarları, yönlendiriciler ve yük dengeleyiciler gibi sanal versiyonlarıyla değiştirilmesini sağlayarak maliyetleri düşürürken hizmet kalitesini artırmaktadır (5G Observatory, 2024).

Yazılım tanımlı ağ (SDN), ağ üzerinde çalışan yazılımlar ile ağ kontrol düzleminde çalışan algoritmaların birbirinden ayrılması anlamına gelmektedir. Yani ağ yönetiminin sağlandığı kontrol düzlemi ile kullanıcı veri akışlarının sağlandığı kullanıcı düzleminin ayrılmasıdır (Seçgin, 2023: 105).

SDN, NFV'nin bir uzantısı olarak yazılım, yük ve talebe uyum sağlamak için operatörün ağ topolojisini dinamik olarak yeniden yapılandırabilmektedir (Rahman, 2016: 49).

SDN, yazılım aracılığıyla sanal bir ağ oluşturabilmekte ve kontrol edebilmektedir. Ağ sanallaştırma, tek bir fiziksel ağ içinde farklı sanal ağları bölümlere ayrılmasına veya tek bir sanal ağ oluşturmak için çeşitli fiziksel ağlardaki cihazların birbirine bağlanmasına olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım ile yüksek hızlı ve esnek ağ cihazı yönetimi, özelleştirilebilir ağ altyapısı ve güçlü bir güvenlik seviyesi elde edilmektedir Böylece, donanım tabanlı geleneksel ağ yönetimi, yazılım tabanlı ve daha esnek bir yapıya dönüştürülmüştür (Seçgin, 2023: 105).

3.5.1.7. Ağ Dilimleme

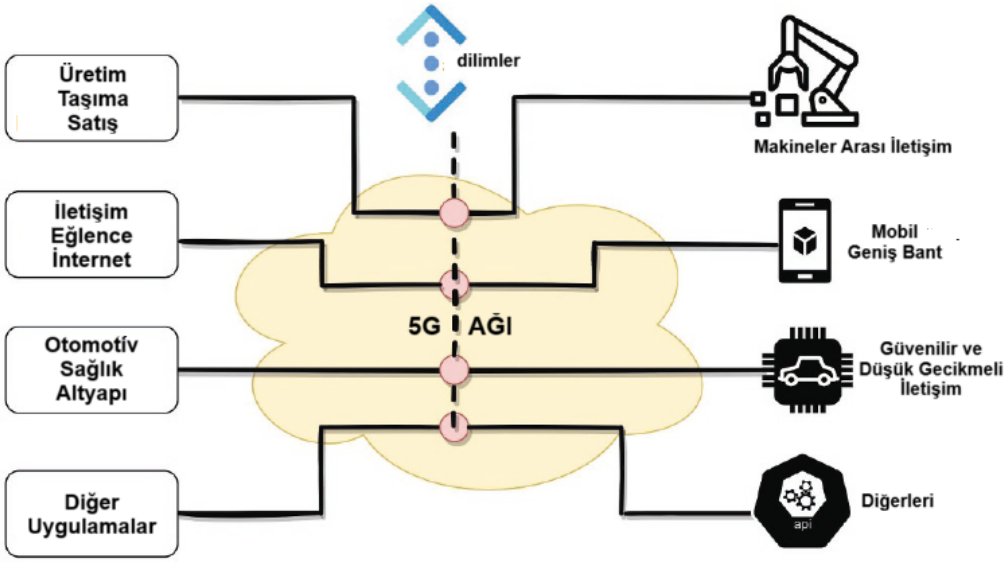
Kablosuz iletişim altyapıları, insanların ve makinelerin her zaman bağlı olduğu ve aynı anda birden fazla cihazla etkileşimde bulunduğu bir ekosisteme doğru evrilmektedir. Bu yoğun bağlantılı altyapıyı sağlamak için yeni nesil kablosuz ağların esnek, ölçeklenebilir ve çeşitli mimarileri ve standartları bir araya getirebilir olması gerekmektedir (Zhang vd., 2020: 189).

5G ile tanıtılan ağ dilimleme, tüm ihtiyaçlara yönelik farklı hizmetleri uygulamak için birden fazla alt ağ oluşturma çözümü sunan bir yaklaşım ve mimariyi ifade etmektedir (Marsch vd., 2018: 202). Sanal ağ mimarileri, SDN'ler ve NFV yöntemleri ile ağ dilimlemenin temelini oluşturacak şekilde tasarlanmıştır (Loghin vd., 2020: 3). Her hizmet için ayrı dinamik bant genişliğine sahip sanal kablosuz ağlar oluşturulmaktadır (Zhang vd., 2020: 189).

Uygulama senaryolarına bağlı olarak ağ dilimleme ile katmanlar (dilimler) oluşturulmaktadır. Mobil geniş bant bir dilimde çalışırken, cihazdan cihaza iletişim başka bir dilimde çalışmaktadır. Her dilimde hem son cihaz erişimi hem de çekirdek ağ erişimi için farklı frekanslar kullanılmaktadır. Böylece 5G kablosuz ekosistemi esnek, sağlam, ölçeklenebilir ve yönetilebilir bir sistem olarak tasarlanmıştır (Zhang vd., 2020: 189). Özetle, ağ dilimleme bazı ağ altyapılarını sanal alt ağlara dönüştürmektedir. Böylece ağ kaynakları temel müşteri ihtiyaçlarına göre ayrılmaktadır (Nokia, 2024).

Şekil 28

Ağ dilimleme (Seçgin, 2023: 113)



3.5.1.8. Çoklu Erişimli Uç Bilişim (MEC)

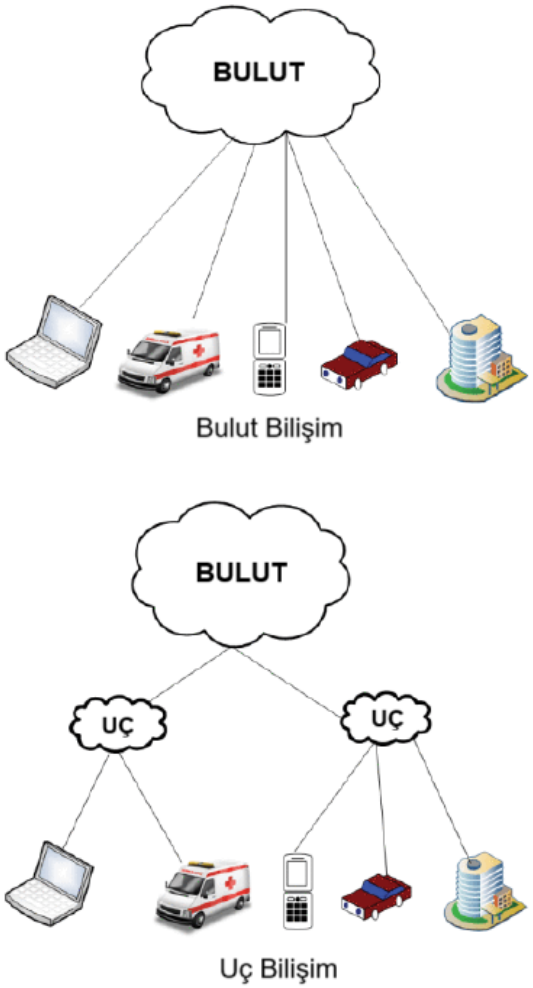
Çoklu Erişimli Uç Bilişim (Multi Access Edge Computing - MEC), 5G'yi mümkün kılan ve 5G'nin hedeflediği performans kriterlerine ulaşması açısından gelişmekte olan kritik bir teknolojidir. MEC, merkezi sistemlerin sınırlamalarını ele almaktadır ve son kullanıcılara yakın ağ kaynakları sağlamaktadır. Uç bilişim, veri işlemeyi verinin tüketildiği ve üretildiği yere yaklaştırmaktadır. Verilerin uzun bir mesafe kat etmesi gerekmemesi, işletim modelinin verimli kalmasının yanı sıra ölçeklenebilir ve sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır (Hassan vd., 2019: 1).

Merkezi bir sistem olan geleneksel bulut bilişimde, verilerin bir gidiş-dönüş yolculuğu yapması gerekmektedir. Başlangıç yerinden işlenmek üzere merkezi bir düğüme gidip daha sonra ilk üretildiği yere geri dönmektedir. Bu süreç, çok fazla bant genişliği gerektiren büyük miktarda bilgi içermekte ve performansı büyük ölçüde etkilemektedir. Geleneksel bulut bilişim modeli, yüksek hesaplama gücü gerektiren ve yüksek kalite gereksinimleri olan yüksek etkileşimli uygulamalar için uygun değildir. Bunun nedeni bulutların kullanıcı cihazlarından uzakta bulunabilmesidir. Bu da enerji tüketimini artırmaktadır. Buna karşılık, ara düğümlere sahip dağıtılmış sistem, taleplerin ayrı ayrı işlenmesinden faydalanıp veri merkezlerinin iş yükünü azaltacaktır. Mini buluttaki uç sunucular, bir bulutun yeteneklerine sahiptir ancak farklı bir ölçektedir. Kullanıcı cihazlarından uzakta olabilecek uzak veri merkezleri yerine yerel olarak bulunmaktadırlar. Uç bilişim, merkezi olmayan modeli benimsemektedir ve gecikmeyi azaltmak için bulut bilişim yeteneklerini kullanıcı cihazlarına yaklaştırmaktadır (Hassan vd., 2019: 3).

MEC ile yalnızca gerekli olan verilerin merkeze iletilmesi sağlanarak, 5G'nin hızla artan veri trafiğinin ağ altyapılarına olan yükü hafifletilmektedir. Bu sayede, şebekenin veri yoğunluğundan dolayı zorlanmasının önüne geçilmektedir. Ek olarak, uç konumlarda verilerin filtrelenmesi ve sınırlanmasıyla, hassas verilerin gereksiz yere diğer şebeke birimlerine iletilmesi engellenip veri gizliliği ve güvenliği sağlanmaktadır. Uç bilişim, özellikle gerçek zamanlı ve düşük gecikme süresi gerektiren uygulamalar için giderek daha önemli hâle gelmektedir. Bu yaklaşım, 5G'nin ultra güvenilir düşük gecikmeli iletişim (uRLLC) senaryolarında hedeflenen 1 ms civarındaki gecikme sürelerine ulaşmayı mümkün kılmaktadır (Aselsan, 2022).

Şekil 29

Bulut bilişim ve uç bilişim modelleri (Hassan vd., 2019: 2)



3.5.1.9. Makineler Arası (M2M) İletişim

Makineden Makineye (M2M) iletişim, çok sayıda makine cihazının insan müdahalesi olmaksızın algılama, işleme ve harekete geçirme faaliyetlerini otonom olarak gerçekleştirmesidir. Bu cihazlar, akıllı şebekelerdeki sayaçlar, elektronik cihazlar ve sunucular ile bir ağ üzerinden bilgi iletmek için kullanılan navigasyon sensörleri gibi çeşitli cihazları içermektedir (Amodu ve Othman, 2018: 1).

Hâlihazırda insan merkezli, dünya çapındaki ağlardan farklı olarak, M2M iletişimlerinin temel özelliklerinden biri, doğrudan insan müdahalesi olmaksızın gerçekleşmesi ve bağlantı sayısında hızlı bir artış olmasıdır. 5G, daha hızlı ve güvenilir bir ağ ortamı sunarak çok sayıda cihazın bağlanmasını vaat ettiği için M2M teknolojisindeki ağ kapasitesi sorununu çözmesi beklenmektedir.

M2M iletişiminin birincil amacı, akıllı cihazlar arasında iletişimi sağlamaktır. Bu teknoloji, cihazların sensörler ve bağlantı modülleri ile donatılarak gerçek zamanlı veri toplamasını, analiz etmesini ve bu verilere dayalı olarak hareket etmesini sağlamaktadır. M2M uygulamaları sağlık izleme, güvenlik, ev ve şehir otomasyonu gibi birçok alanda yaygındır (Amodu ve Othman, 2018:2).

3.5.2. 5G'nin Sektörler Üzerindeki Etkisi

5G'nin sunduğu imkânlar çok geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Hem mobil geniş bant sistemlerindeki iyileştirmeleriyle hem de yenilikçi teknik ve teknolojilerle birçok sektörde önemli gelişimler oluşturacağı düşünülmektedir. 5G'nin yaygınlaşması ile beraber ortaya çıkacak olan kullanım alanlarının bir kısmı henüz geliştirme aşamasında olsa da bu yeni teknolojinin özellikle aşağıdaki sektörlerde önemli etkiler oluşturması beklenmektedir:

3.5.2.1. Tarım Sektörü

Tarım sektörü, teknolojik gelişmelere rağmen hâlâ büyük oranda el emeğine dayanmaktadır ve doğal kaynakları verimsiz kullanmaktadır. Geleneksel tarım teknikleri doğal kaynakları gereksiz yere tüketmekte ve kayda değer bir sonuç vermemektedir. Artan gıda talebi ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle de birlikte tarım uygulamalarının etkinliğini artırmak için, tarımda yeniliklerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

5G destekli hassas tarım, önemli ölçüde daha hızlı 5G internet hızından, makine öğrenimi ve yapay zekâdan (AI) ve cihazlar ile bulut arasında neredeyse gerçek zamanlı iletişimden yararlanmak, çiftçilere çok çeşitli gelişmiş teknolojiler sunacaktır. Akıllı tarım çiftçilere bu modern teknolojileri sunarak verimliliği artırmayı hedeflemektedir. Tekrarlayan ve yoğun emek isteyen görevlerin 5G teknolojileriyle sağlanan otomasyonu, çiftçilerin büyük bir hassasiyetle ve daha az israfla çalışması için fırsatlar sunmaktadır. Otomasyon, veri toplama sensörleri ve yapay zekâ destekli dronlar ile tarımda israfı azaltmak ve işgücünü optimize etmek mümkün hâle gelmektedir. Tarla koşulları, geniş bir veri toplama sensörleri ağı aracılığıyla hassas bir şekilde izlenebilmektedir. Yapay zekâ dronları kullanılarak mahsuller ve yabani otlar üzerinde pestisitler hassas bir şekilde taranabilmektedir. Şekil 30, akıllı tarım kavramını ve tarımda teknoloji kullanımının işgücünün azaltılmasına yardımcı olabileceğini göstermektedir (cubictelecom, 2021).

Şekil 30

Tarımda 5G (cubictelecom, 2021)



3.5.2.2. Otomotiv Sektörü

Otonom araçlar, bir zamanlar sadece bilim kurgu filmlerinde hayal edilirken, günümüzde otomobil üreticileri bu teknolojiyi kullanmaya başlamıştır. 5G, sürücüsüz araçların gelişiminde önemli bir rol oynayacak çünkü otonom sürüş için, araçlar ve diğer birçok cihaz arasında eş zamanlı olarak büyük miktarda veri aktarılması gerekmektedir. 5G ağları, gecikmeyi önemli ölçüde azaltarak araçların mevcut ağlardan 10-100 kat daha hızlı daha hızlı tepki vermesini sağlayacaktır. Ayrıca, 5G ile araçlar uzaktan da kontrol edilebilecektir. 4G'ye kıyasla 5G'nin daha düşük gecikme süresi, kazalardan kaçınma gibi kritik durumlarda araçların daha hızlı ve güvenli bir şekilde tepki vermesine olanak tanıyacaktır (Digi, 2020).

Ulaşım sektörü de 5G'den önemli ölçüde faydalanacaktır. Bu teknoloji, güvenlik, düşük gecikme süresi ve yüksek kapasite gibi avantajlarla insan ve yük taşımacılığını iyileştirecektir. Araçlar, araçtan araca (V2V) ve araçtan altyapıya (V2I) iletişim sistemleriyle trafik ışıkları, köprüler, sensörler gibi unsurlarla bağlantı kurarak daha güvenli ve verimli bir ulaşım ağı oluşturacaktır. (AT&T, 2023). 5G'nin yaygınlaşmasıyla yerleşim yerlerinde uçtan uca bağlantı sağlanacak ve ulaşım sistemlerinde gerçek zamanlı veri akışı mümkün olacaktır. Bu sayede şehirler trafik akışını daha iyi planlayabilecek ve ulaşım kapasitesi daha kolay tahmin edilebilecektir. Ayrıca filo yönetimi, araçların konumu, hızı, yakıt tüketimi ve bakım ihtiyaçlarını gerçek zamanlı olarak takip ederek verimliliği artıracaktır (AT&T, 2023).

3.5.2.3. Sağlık Sektörü

Sağlık sektörü hâlihazırda büyük ölçüde internete bağlıdır. Küresel nüfusun hızla artmasıyla birlikte, dünya genelindeki sağlık sistemleri mevcut sınırlı kaynakları yönetmek için baskı altında kalmaktadır. 5G teknolojisi, sağlık sektöründe görüntüleme, teşhis, tedavi ve veri analitiği gibi alanlarda önemli yenilikler getirecektir. 5G, yetenekli doktorların uzaktan çalışmasına ve akıllı robotiklerin yardımıyla ihtiyaç duyulan temel bakımı sağlamasına olanak tanıyacaktır. Ayrıca, insanlar nerede olursa olsun mevcut kaynakların verimli ve bağımsız bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır.

Nesnelerin interneti (IoT) ile birlikte "tıbbi nesnelerin interneti" (Internet of Medical Things) kavramı hayatımıza girmiştir. Giyilebilir cihazlar, uzaktan sensörler sayesinde hayati veriler izlenip elektronik ortamda paylaşılacaktır. Bu cihazlar, tele-sağlık hizmetlerinde uzaktan teşhis, tedavi ve yüksek çözünürlüklü video konferans ile uygun maliyetli sağlık hizmetleri sağlayacaktır (Darrell, 2016: 6). Bu durum, kırsal ve yetersiz hizmet alan bölgelerde sağlık hizmetlerine erişimi artıracak ve sağlık hizmeti kalitesindeki farkı azaltacaktır.

Giyilebilir tıbbi cihazların artan kullanımı, kronik hastalıkların takibinde büyük fayda sağlayacak ve erken müdahale imkânı sunacaktır. Örneğin, Parkinson hastalığındaki titremeleri izleyen cihazlar, gerçek zamanlı ve güvenilir veriler sağlayarak daha doğru teşhisler yapılmasını mümkün kılacaktır (Darrell, 2016: 7).

5G'nin diğer kullanım alanı ise cerrahi dünyasıdır. Hastalardan yüzlerce kilometre uzakta olsa bile, kablosuz robotlar arasında gerekli düşük gecikme süresi, verim ve güvenilirlikle, uzaktan konumlandırılmış bir cerrah, doktorun ellerini robotik problarla değiştirirken aynı dokunma hissiyle ameliyatı gerçekleştirebilir (Chandramouli vd., 2019:24). Uzaktan ameliyatlar gibi gelişmiş uygulamalar, Çin'de gerçekleştirilen 5G destekli cerrahi operasyonuyla da kanıtlanmıştır (China, 2019).

Sonuç olarak, 5G teknolojisiyle sağlık hizmetleri, mobil cihazlar, sensörler ve uzaktan izleme ekipmanları sayesinde daha dijital ve etkili bir hâle gelecektir. Bu dönüşüm, cihazların güvenli ağlara bağlanması ve verilerin güvenli şekilde paylaşılmasıyla mümkün olacaktır.

3.5.2.4. Üretim Sektörü ve Endüstriyel Otomasyon

Üretim sektörü, IoT ve bulut teknolojileri ile üretim süreçlerini optimize etmek, maliyetleri azaltmak ve gelirleri artırmak için yenilikçi çözümler uygulamaktadır. 5G'nin endüstriyel otomasyondaki ana avantajı, tüm kablolu teknolojinin yerini daha verimli ve maliyeti düşüren kablosuz teknolojinin almasıdır. Bulut tabanlı yüksek güçlü analitik motorlarla entegre sensörler, makineleri izleyip performanslarını değerlendirecektir. 5G sayesinde üretim sektöründe yapay zekâ, artırılmış gerçeklik ve IoT gibi teknolojilerin kullanımı yaygınlaşacak ve akıllı işletmeler oluşturulacaktır (Pwc Global, 2020: 3).

Ürün izleme sistemleriyle hesap doğruluğu sağlanırken, IoT cihazları sayesinde gerçek zamanlı geri bildirim, nakliye ve depolama optimizasyonu, arıza önleyici bakım gibi işlemler yapılmaktadır. Bu teknolojilerle akıllı fabrikaların oluşturulması hedeflenmiştir Fabrikalarda ve tedarik zinciri uygulamalarında hâlihazırda birçok senkronize robotik çalışmaktadır.Yüksek verim, düşük gecikme süresi ve aşırı güvenilirliğe sahip 5G'nin kullanıma sunulması, akıllı fabrikalar için gereken yüksek hizmet kalitesini sağlayacaktır. Ek olarak, 5G sonunda insanlar, makineler ve çevre arasında işlevsel güvenliği sağlayacaktır (Chandramouli vd., 2019:24-26).

5G'nin sunduğu çok yüksek veri hızı, düşük gecikme süresi ve yüksek kapasite, üretim süreçlerini şu şekillerde etkileyecektir (Pwc Global, 2020: 4):

- Gerçek zamanlı verilerle üretim süreçleri optimize edilecek, üretim döngüleri daha sorunsuz hâle gelecektir.
- Araçlar ve robotlar hızlıca yeniden programlanabilecek, böylece verimlilik artacak ve özelleştirilmiş üretim sağlanacaktır.
- Fabrika altyapısı ile kurumsal bilişim sistemleri entegrasyonu sağlanarak uzaktan kontrol ve daha fazla optimizasyon mümkün olacaktır.
- Gelişmiş sensörlerin ekipmanları yakından izlemesiyle planlanmamış bakımların önceden tahmin edilmesi ve uzaktan tespitlerin yapılması sağlanacaktır.
- 5G, acil durum sinyallerine hızlı tepki verilmesini sağlayarak daha güvenli bir üretim ortamı sunacaktır.

3.5.2.5. Enerji Sektörü

5G’nin enerji sektöründeki en büyük uygulama alanı akıllı şebekeler olacaktır. Akıllı şebeke sistemleri, enerji üretiminden dağıtımına kadar tüm süreçlerde iki yönlü iletişim

sağlayarak verimliliği artıracaktır. Akıllı Şebekeler, 5G, güç iletim ve dağıtım ağlarının sensörlerle donatılmasına olanak tanımaktadır. Bu sensörler, enerji kullanımını daha verimli bir şekilde izlemektedir ve enerji kesintilerine daha hızlı yanıt verilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, enerji şirketlerine önceden takiple bakım yapma imkânı tanımaktadır. 5G'nin sunduğu yüksek hız ve güvenilirlik, güç üretimi ve yönetim süreçlerini sayısallaştırarak, enerji arz ve talep dengesini optimize edecektir (Attaran, 2019: 20).

3.5.2.6. Medya ve Eğlence Sektörü

5G teknolojisi, medya ve eğlence sektöründe önemli değişiklikler yaparak içerik üretimi, dağıtımı ve tüketiminde önemli fırsatlar sunmaktadır. 5G'nin ultra hızlı veri iletimi, düşük gecikme süresi ve geniş bant kapasitesi sayesinde medya deneyimleri daha interaktif, sürükleyici ve kişiselleştirilebilir hâle gelecektir (Kharel, 2022: 16).

Hızlı ve Yüksek Kaliteli İçerik Akışı: 5G'nin sunduğu geniş bant genişliği sayesinde kullanıcılar, mobil cihazlarda ultra yüksek çözünürlükte (UHD) videoları ve canlı yayınları gecikmesiz izleyebilecektir. Canlı yayınlar, spor etkinlikleri ve diğer yüksek kaliteli içerikler, 5G ağları sayesinde sorunsuz bir şekilde aktarılabilecektir.

5G, daha gerçekçi ve etkileyici içeriklerin üretilmesine olanak tanıyarak medya içeriğinin daha hızlı ve daha geniş bir alana dağıtılmasını sağlamaktadır. Bu sayede, uzak bölgelerde yaşayan insanlar bile yüksek kaliteli içeriklere erişebilecektir.

5G'nin sunduğu veri kapasitesi, mobil cihazlarda medya tüketimini de büyük ölçüde artıracaktır. Kullanıcılar akıllı telefon ve tabletleri üzerinden, özellikle sosyal medya platformlarında, ilgi alanlarına uygun kişiselleştirilmiş içeriklere daha hızlı erişecek, interaktif videolar ve canlı yayınlar üzerinden izleyicilerle daha yoğun bir etkileşim kurulacaktır (IBM, 2019).

Sanal ve Artırılmış Gerçeklik: 5G'nin hız ve kapasitesinden büyük ölçüde faydalanan sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) uygulamaları daha akıcı ve gerçekçi hâle gelerek yaygınlaşacaktır. AR ve VR teknolojisi hem medya ve eğlence (örneğin oyun) hem de üretim veya tıp gibi daha pratik uygulamalarında bir dizi potansiyel kullanım alanına sahiptir (Rahman ve Ahmmed, 2016: 24). Çıplak gözle görülmesi zor veya dokunulması güvenli olmayan fiziksel parçaların gösterilebilmesi bu sektör üzerinde büyük bir etki oluşturmuştur. Sanal gerçeklik başlıklarıyla sinema deneyimleri daha gerçekçi hâle gelecek, artırılmış gerçeklik kullanılarak kullanıcılar medya içeriklerini fiziksel dünyayla entegre bir şekilde deneyimleyebilecektir. Bu teknolojiler, hem eğlence hem de ticari alanlarda yeni

deneyimler sunacaktır. Örneğin, kullanıcılar konserler ve spor etkinliklerini 360 derece izleme imkânı veya sanal müze turları gibi deneyimler mümkün hâle gelecektir (Smartprix, 2019). Aşağıdaki Şekil 31'de artırılmış gerçeklik (AR) uygulaması gösterilmektedir.

Şekil 31

AR uygulaması (Adobe, 2024)



Gerçek Zamanlı Etkileşimler: 5G'nin düşük gecikme süresiyle birlikte, etkileşimli yayıncılık ve bulut tabanlı oyunlar, film, müzik gibi medya içerikleri çok daha hızlı indirilecek veya içeriklere gerçek zamanlı olarak akış sağlanacaktır. Oyunseverler, bulut üzerinden oyun oynarken neredeyse sıfır gecikme ile en iyi deneyimi yaşayabileceklerdir. Aynı zamanda e-spor canlı yayınları da daha hızlı ve yüksek kalitede yapılabilecek, bu da oyuncular ve izleyiciler için daha gelişmiş deneyimler sunacaktır.

Medya üretim süreçleri bulut platformlarına taşınacak ve 5G'nin sunduğu yüksek hızlarla içerik üretimi hızlanacaktır. Prodüksiyon ekipleri, görüntüleri ve sesleri anında paylaşabilecek, düzenleme ve montaj işlemleri coğrafi sınırları ortadan kaldırarak uzaktan yapılabilecektir. Ayrıca, 5G ile medya içerikleri daha hızlı dağıtılabilecek, film ve dizi yapımcıları, yayıncılar ve içerik sağlayıcılar için maliyet avantajı sunacaktır (IBM, 2019).

5G teknolojisi, medya sektöründe köklü değişimlere yol açacak bir potansiyele sahiptir. Yüksek hız, düşük gecikme ve geniş bant kapasitesi gibi özellikleri sayesinde, medya içeriğinin üretimi, dağıtımı ve tüketimi konusunda yeni olanaklar sunmaktadır. Medya şirketleri ve telekomünikasyon şirketleri arasındaki işbirliği, bu potansiyelin tam olarak gerçekleşmesi için kritik öneme sahiptir (BEREC, 2018: 38).

İnternet teknolojileri, geleneksel yayıncılığa alternatif olarak hızla gelişirken, video ve medya dağıtım platformlarının sayısı da artmaktadır Bu bağlamda, 5G'nin sunduğu yüksek hizmet kalitesinin görsel-işitsel içeriklerde önemli bir değişim yaratacağı düşünülmektedir. Kullanıcı alışkanlıkları değiştikçe, geleneksel televizyon yayınlarının yerini internet tabanlı yayınlar almaktadır ve bu tür hizmetlere erişmek için kullanılan cihaz sayısı artmaktadır (BEREC, 2018: 38).

5G, televizyon yayıncılığını dönüştürerek, daha kişiselleştirilmiş ve etkileşimli bir deneyim sunacaktır. İzleyiciler, istedikleri zaman ve istedikleri yerde içerik tüketebilir ve canlı yayınlara gerçek zamanlı olarak katılabileceklerdir. Yayıncılık sektörünün bu yöndeki araştırma ve çalışmaları kapsamında "5G Broadcast" adı verilen sayısal yayıncılığın 5G ağları ile entegre edilerek iletildiği yayıncılık teknolojisi geliştirilmiştir.

BÖLÜM 4

5G İNTERNET YAYINCILIĞI iLE KARASAL SAYISAL TELEVİZYON YAYINCILIĞI ENTEGRASYONUNDA HİBRİT İLETİM MODELİ

Mobil haberleşme teknolojilerinin hızlı gelişimi, içerik dağıtımı ve multimedya hizmetlerinde dönüştürücü ilerlemelerin önünü açmıştır. Mobil teknoloji 4G'den 5G'ye geçerken, birçok uygulama ve içerik türü de bu değişime ayak uydurmuştur. Şu anda 4G LTE, en yaygın kullanılan mobil ağ teknolojisidir. Gelişmekte olan 5G teknolojisi ise 4G LTE üzerine kurulmuş olup, uygulamalarda 4G LTE'ye kıyasla gelişmiş özellikler sunmaktadır (Lustica ve Bozek, 2019:97). 5G teknolojileri; ultra yüksek hız, verim, düşük gecikme süresi ve güvenilirlik açısından bir dizi olağanüstü teknik özelliği bir araya getiren ve uç bilişim, ağ dilimleme gibi akıllı ağ özelliklerini destekleyen yeni nesil mobil ağların temelini oluşturmaktadır (Fuentes vd., 2020:1; Yang vd., 2020:27).

5G ağ teknolojilerinin dünya çapında kullanılmasıyla, medya içeriğinin, özellikle de videonun, 2027'de mobil veri trafiğinin yüzde 49'unu oluşturması beklenmektedir (Jejdling, 2021:2). Bu artışa bağlı olarak 5G döneminde daha fazla sayıda mobil kullanıcı, daha verimli akıllı cihazlar ve daha yüksek kapasiteli ağlar görülecektir. Bu nedenle, 5G yayıncılığının gelişimi iki yöne odaklanmaktadır: birincisi, 5G ağları gelişmekte olan televizyon ağlarının yayınını ve hücresel ağların tek noktaya yayın bileşik hizmetlerini sağlayabilmelidir; ikincisi, geleneksel yayıncılık ve televizyon medyasının daha kişiselleştirilmiş ve etkileşimli olmasını sağlamalıdır. Mobil yayıncılık gelişiminin ihtiyaçları ve uygulamaları genel olarak aşağıdaki gibi kategorize edilebilir (Future Forum, 2020:4):

- Daha yüksek kaliteli ses ve video ve sürükleyici ses ve video gibi kaynakların daha verimli kodlanması,
- 4K/8K Ultra Yüksek Çözünürlüklü Televizyon, Çok Kanallı/Çok Açılı Görüntüleme Sistemi vb olması,
- Çoklu platform program içeriği gibi her yerde bulunan içerik yayınını, evdeki sabit cihazlara ve mobil ortamlardaki akıllı telefonlara ve tabletlere hizmet vermesi,
- Daha büyük veri kapasitesi ve daha yüksek yoğunluklu veri iletimi için içerik dağıtım verimliliğini artırmak amacıyla bir hücresel ağı (Düşük Güçlü Alçak

Kule - LPLT) çoğaltmak üzere "Yüksek Güçlü Yüksek Kule" yayın ağının (HPHT) konuşlandırılması,

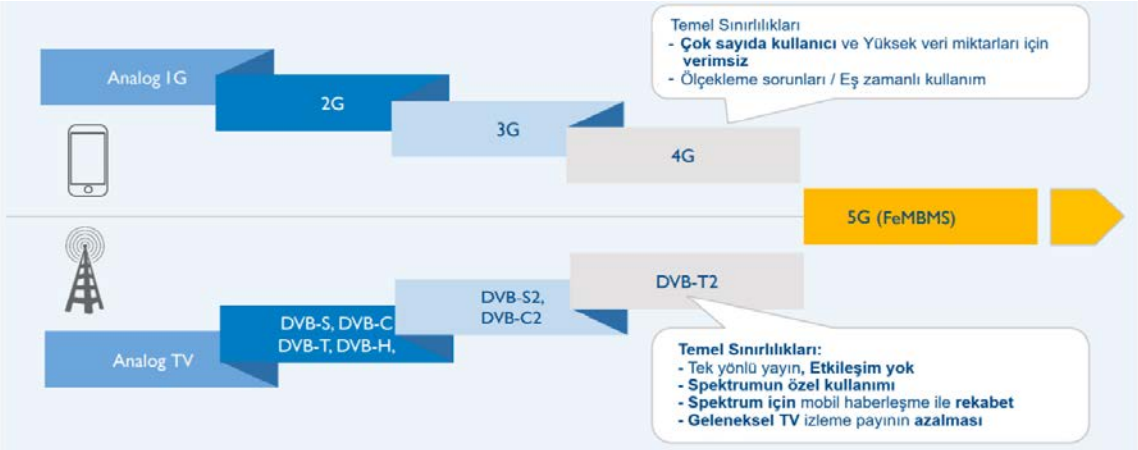
- Mobil yayıncılık ile desteklenen eMBB gibi hızlı hareket eden senaryolarda terminal hareketliliği,
- 3D AR/VR spor sahnesi uygulamaları için URLLC.

5G'nin kullanıma sunulması, multimedya içeriğinin geniş bir kitleye verimli ve ölçeklenebilir bir şekilde dağıtılması için yeni fırsatlar ve yetenekler ortaya çıkarmıştır. (Shurdi ve Lala, 2023:2). Bununla birlikte geleneksel televizyon yayıncılığı, içerik üretimi ve dağıtımı sektörüne giren sosyal medya gibi yeni rakipler tarafından çevrelenmiştir (Lustica ve Bozek, 2019:97). Bu rekabette içerik oluşturucular ve medya hizmet sağlayıcılar, medya uygulamalarına uyarlanmış teknolojinin izleyicilere hizmet etmek üzere mobil ağlarla cihazlara nasıl yerleştirileceğini ve benimseneceğini onlarca yıldır değerlendirmektedirler. "Geleneksel Yayın (Broadcast)" yaklaşımının benimsenmesi kaynakların, maliyetin ve verimliliğin iyileştirilmesi açısından faydalı olacağı ve mobil ağların gelişmiş özellikleri göz önüne alınarak karasal sayısal yayıncılık ile mobil haberleşme sistemlerinin yakınsaması fikri de bu değerlendirmeler arasında olmuştur (Gomez-Barquero vd., 2022:1).

Yayın içeriğini ve bilgilerini taşıyan sayısal televizyon sinyallerini 5G mobil hücresel ağ ile birleştirerek bir kablosuz televizyon yayın ağı üzerinden akıllı cihazlara iletilmesi "5G Yayıncılık" olarak adlandırılmaktadır. 5G yayıncılık için kullanılan teknik terim "5G Broadcast" olup DVB-T2'ye benzer bir teknolojiyi ifade etmektedir (Future Forum, 2020:1).

Şekil 32

Sayısal televizyon yayıncılığı ile mobil haberleşme sistemlerinin yakınsaması (Arcidiacono, 2019)



"5G Broadcast (5G Yayını)" teknolojisinin ortaya çıkışı, karasal sayısal televizyon yayın ağları ile geniş bant ağlarının yakınsamasını sağlayarak program içeriği ile bilginin tutarlı ve standartlaştırılmış bir formatta ev televizyonlarına ve mobil cihazlara iletilmesine olanak tanımıştır. Böylelikle 5G cihazlarının 5G sinyallerine bağlanabilmesi ve kablosuz televizyon yayınlarını alabilmesi gerekmektedir. Şu anda geliştirilmekte olan bu tür alıcı cihazlar arasında cep telefonları, tabletler araç içi televizyonlar ve sabit televizyonlar yer almaktadır. 5G Broadcast'in yaygınlaşmasının, 2025 yılından itibare geleceğe yönelik olacağı beklense de, yakın zamanda yapılan 5G spektrum ihalesi, yeni nesil mobil iletişim altyapısının başlangıcına işaret etmektedir (Future Forum, 2020:1).

Yayın ağları ile hücresel mobil ağlar arasındaki temel fark, yayın ağlarının tüm kullanıcılara aynı bilgiyi iletmesi, hücresel mobil ağların ise noktadan noktaya (Point to Point - P2P) iletişim kullanmasıdır. Mobil ağlarla karşılaştırıldığında, yayın ağının ana avantajı, iletilen sinyali kaç kullanıcının aldığına bakılmaksızın ağdaki kapasite gereksinimlerinin aynı olmasıdır. Dezavantajı ise etkileşim eksikliğidir ki bu da noktadan noktaya iletişimin en önemli avantajıdır. Noktadan noktaya iletişim ağlarındaki bir sorun da kapasite gereksinimlerinin ağa bağlı eş zamanlı kullanıcı sayısına bağlı olmasıdır (Lustica ve Bozek, 2019:98).

5G teknolojisini yayıncılık alanında kullanmak için ana motivasyonun olası sebeplerinden bazıları aşağıda verilmiştir (Sami, 2018):

- LTE hâlihazırda haber toplama için yaygın olarak kullanılmaktadır.
- İçerik üretimi karmaşık ve maliyetlidir.
- 5G performans hedefleri dikkat çekicidir.
- 5G daha fazla operasyonel esneklik ve verimlilik, yeni kullanım durumları ve maliyet azaltımı sağlayabilmektir.

5G üzerinden televizyon yayını açısından bakıldığında, yayıncılar için en kritik gereksinimler ise şunlardır (Sami, 2018):

- Yüksek güvenilirlik ile geniş ağ kapsamı.
- Uygun iş modelleri.
- Belirli yayın yönetmeliklerine uygunluk.
- Hem yayıncılar hem de son kullanıcılar için düşük maliyetler.

4.1. Mobil Yayıncılığın 5G Yayınına Doğru Gelişimi

3. Nesil Ortaklık Projesi (3GPP), 3G günlerinden beri mobil yayıncılık teknolojilerini destekleyip 20 yılı aşkın süredir gereksinimlerini belirlemektedir. İlgili çalışmalar 3GPP'nin

6. sürümünden başlayarak son sürümüne kadar devam etmiştir. Çok noktaya yayın ve geleneksel yayın hizmetlerini iletmek için hücresel iletişim ağlarını kullanmaya yönelik ilk adımlar da MBMS ile 3GPP tarafından atılmıştır.

4.1.1. MBMS, eMBMS ve FeMBMS

3GPP Sürüm 6'da "Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS)" nde mobil ağ operatörleri (MAO) için "Multimedya Yayın Çoklu Yayın Hizmeti (MBMS)", çok noktaya yayın ve geleneksel yayın hizmetlerinin daha verimli bir şekilde sunulmasını sağlamak için tanımlanmıştır (5G-Xcast, 2019:1).

3GPP, Sürüm 9'da mobil ağlarda yayın iletiminin başlangıcı sayılabilecek LTE tabanlı "Multimedya Yayın Çok Noktaya Yayın Hizmetleri (Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services - eMBMS)"ni tanıtmıştır (Sengupta vd., 2023:1). Sürüm 9'daki tanıtımından sürüm 13'e kadar olan süreçte eMBMS, çekirdek ağ mimarisinde ve RAN'da yapılan büyük değişiklikler ve iyileştirmelerle birlikte daha yüksek hızlar ve daha esnek iş modelleri, yüksek çözünürlüklü video kodlama ve çerçeve hızları gibi bir dizi geliştirmeden geçerek aşama aşama tüm sürümlerde geliştirilmiştir. Ayrıca "İleri Hata Düzeltme (Forward Error Correction - FEC)" teknolojisi de eMBMS'ye eklenmiştir (Gomez-Barquero vd., 2020:2). Sürüm 14'ten önceki eMBMS'nin özellikleri aşağıda verilmiştir (3GPP, 2017: 5-6):

- Yüksek spektral verimlilikte daha büyük "Siteler Arası Mesafe (ISD)" desteği.
- 100'e kadar yayın kaynağı tahsisi kullanarak tek bir taşıyıcı üzerinden karışık tek noktaya yayın ve geleneksel yayın hizmetlerine olanak tanıyan özel veya karma eMBMS taşıyıcısı ve özel taşıyıcılar için kendi içinde bulunan bir sistem bilgisi ve senkronizasyon sinyalleri.
- MBSFN (multicast-broadcast single-frequency network) eMBMS iletimlerinde aşırı yükü azaltmak için tek noktaya yayın kontrol bölgesi olmayan alt çerçeve.
- Operatörlerin eMBMS ağlarını ortak bir eMBMS içerik dağıtım platformunda bir araya getirebilecekleri paylaşımlı eMBMS yayını.

İçerik iletimi LTE ağı üzerinden sağlandığı için eMBMS, "LTE Yayın (LTE Broadcast)" olarak da bilinmektedir. LTE Broadcast, arabelleğe alma, tıkanıklık ve gecikmeyi azaltma ile kullanıcı deneyimini iyileştirebilmektedir. Ayrıca operatörler ve hizmet sağlayıcılar için içerik dağıtımının maliyetini ve karmaşıklığını azaltabilmektedir (TEC, 2023: 11).

eMBMS, diğer adıyla LTE Broadcast, hem hızlı yanıt verme hem de verimlilik açısından tüketicilerin video dağıtım ihtiyaçlarını karşılamada etkili bir çözümdür. Bu teknoloji, tek noktadan yayından çok noktaya yayın dağıtımına otomatik geçişi destekleyerek HD kalitesindeki mobil videoyu çok sayıda izleyiciye aynı anda sorunsuz bir şekilde iletebilmektedir (Lustica ve Bozek, 2019: 97).

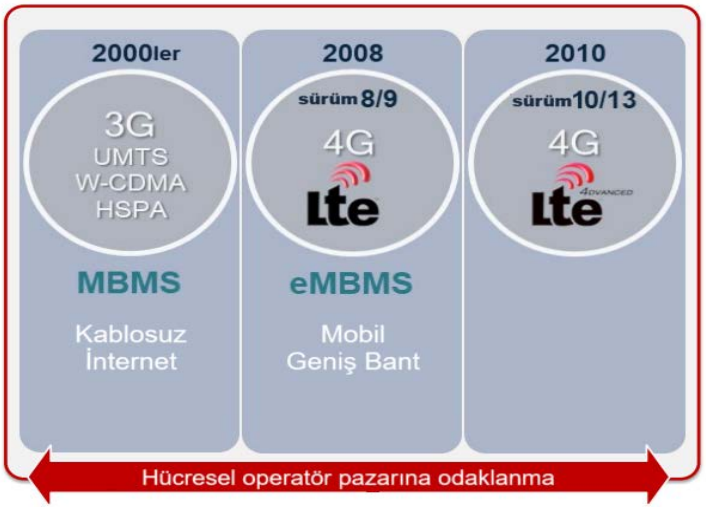
Sürüm 14'e kadar olan dönemde az miktarda mobil cihaz kullanımına bağlı düşük medya tüketimi nedeniyle hizmet büyük bir başarı elde edememiştir. Mevcut akıllı telefonlar, tabletler gibi taşınabilir ve mobil cihazlara mobil yayın alıcısı entegre etmeye yönelik ilk girişimler de başarısız olmuştur (Gómez-Barquero, 2013: 112).

Yayıncılık açısından bakıldığında ise eMBMS, yayıncılar için çok tercih edilmemesine neden olan bazı kısıtlamalara sahipti. Bir sinyal taşıyıcısının en fazla %60'ı eMBMS'ye tahsis edilebiliyordu. Geri kalanı tek noktaya yayın bağlantıları için ayrılmak zorundaydı. Bu eMBMS'nin yalnızca mobil ağ kurulumunda örneklenebileceği ve mobil operatör tarafından çalıştırılabileceği anlamına gelmekteydi. Bu durum, eMBMS'nin yalnızca özel olarak 3G ve 4G mobil ağlarda bulunabilen, yani maksimum birkaç kilometreden daha az olan vericiler arası mesafeler için uygulanabileceği gerçeğini de beraberinde getirmiştir (3GPP, 2017: 5-6).

Hem sanayileşme hem de ticarileşme alanındaki ilerlemesi çok yavaş olan mobil yayıncılık, 2011'den 2018'e kadar dünyada sadece beş mobil operatör tarafından küçük ölçekli ticari hizmetler şeklinde başlatılmıştır (Gómez-Barquero, 2013: 57).

Şekil 33

Hücresel yayın teknolojilerinin 2000-2015 yılları arası gelişimi (Dubs, 2024)



Sürüm 14'deki eMBMS, sürüm 9'da geliştirilen ilk eMBMS sürümünden çok farklıdır ve bu nedenle Daha Gelişmiş Multimedya Yayın Çok Noktaya Yayın Hizmeti (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service - FeMBMS) olarak adlandırılmıştır (Gomez-Barquero vd., 2020: 15).

FeMBMS, yüksek kaliteli canlı akış hizmetlerinin, medya kitaplıklarının ve sosyal ağların milyonlarca bağlı cihaza verimli bir şekilde dağıtılmasını sağlayan LTE eMBMS iletim modunun daha da geliştirilmiş hâlidir. 4G LTE'nin geriye dönük uyumlu tasarım felsefesi nedeniyle uzun bir mobil haberleşme mirası taşımaktadır. Sistem mimarisi ve medya formatlarındaki iyileştirmelerle birlikte önceki sürümlerdeki ve LTE'deki bazı temel radyo arayüzü özelliklerini korumuştur (Lustica ve Bozek, 2019: 98).

3GPP'nin FeMBMS standardı, günümüz iletişim teknolojilerinde yaygın olarak kullanılan görsel-işitsel iletim ve kodlama formatlarını tanımlamaktadır. İlk kez, "Yüksek Güçlü Yüksek Kule (HPHT)" kullanılmaktadır. HPHT uygulamaları için yalnızca aşağı bağlantı moduna izin verilerek, dönüş yoluna ve bir yetkilendirme sertifikasına ihtiyaç duymadan tek yönlü bir alım modu oluşturarak, radyo ve televizyon uygulamalarının SIM karta ihtiyaç duymadan çalışmasını sağlamaktadır. Ayrıca, HPHT ağ topolojisinin hücresel ağlar için bir katman olarak kullanılması sayesinde, aynı anda yüzlerce hatta binlerce aboneye tek bir vericiden medya ve eğlence içeriğinin dağıtımı mevcut mobil ağ yapılarına kıyasla daha verimli ve uygun maliyetli olacaktır. Çok noktaya yayın içeriği ağ kapasitesini yalnızca bir kez kullandığı için bu konsept yeni bir verimlilik boyutu sağlamaktadır (Future Forum, 2020: 6).

FeMBMS alıcısı "Yazılım Tanımlı Radyo (SDR)" teknolojisine dayanmaktadır. Yakın gelecekte bu teknoloji akıllı telefonlarda, tabletlerde ve televizyonlarda kullanılacaktır. Bu, FeMBMS'nin dayandığı sayısal televizyon iletim teknolojisi bölgeden bölgeye değişse de, gelecekte SDR teknolojisini kullanan mobil cihazların bölgeler arasında dolaşabileceği anlamına gelmektedir (Future Forum, 2020: 6).

eMBMS, birkaç "Düşük Güçlü Alçak Kule (LPLT)" altyapısına sahip bir hücresel ağda kullanılmak üzere tasarlandığından, eMBMS'de bazı işlevsel iyileştirmeleri odağına almaya devam etmiştir. 2017 yılında, yüksek kaliteli karasal yayın hizmetleri sunmak için FeMBMS uygulamalarını HPHT ağlarının kullanımıyla birlikte yayın yetenekleri açısından büyük bir adım olan enTV (*geliştirilmiş* TV) hizmeti 3GPP Sürüm 14 ile tanınmıştır. EnTV özelliği başlangıçta "Kamu Hizmeti Medyası (PSM)" içeriğinin dağıtılması ve iletilmesi için teknik gereksinimlerin çoğunu karşılamak üzere tasarlanmıştır (ETSI, 2023). EnTV çalışması, yayıncıların tüm hizmetlerini - hem doğrusal hem de doğrusal olmayan - mobil

cihazlara sunma fırsatını yaratarak 3GPP sisteminin kendi içinde yayın yeteneklerini mümkün kılmıştır (Gomez-Barquero vd., 2020: 3).

3GPP Sürüm 14 spesifikasyonuna dayanan tek noktaya yayın (unicast) modu, hücresel bir ağ üzerinden bireysel cihazlara multimedya içeriği sunmanın bir yoludur. Her cihaz, kaynaktan özel bir kanal veya akış aldığı için bire bir iletişim olarak da bilinmektedir. İsteğe bağlı video, sosyal medya ve web taraması gibi isteğe bağlı ve kişiselleştirilmiş hizmetler için uygundur. FeMBMS, operatörlerin spektrumlarının bir kısmını içeriğin çok noktaya yayını için tahsis etmelerine olanak tanıyan 4G LTE standardının bir özelliğidir (TEC, 2023: 13).

Mobil ağ operatörleri, eMBMS'nin yayın hizmetlerini iletmek için kullandığı %60'lık sinyal taşıyıcı kapasitesi yerine, FeMBMS sinyal taşıyıcı kapasitesinin %100'üne kadarının yayın hizmetlerine ayrılmasını mümkün kılmıştır (Ler, 2020). Bununla birlikte, FeMBMS ile SFN'de daha büyük iletim yarıçaplı alanların inşa edilmesi, sahalar arasındaki mesafenin önemli ölçüde artmasına olanak tanımaktadır ve geniş alanları kapsamak için televizyon kulelerinin baz istasyonu olarak kullanılmasını da sağlamaktadır (Future Forum, 2020:6). eMBMS'den gelen bu büyük adımlar, yayıncılar arasında FeMBMS'nin potansiyeline olan ilginin artmasına neden olmuştur.

FeMBMS, sayısal karasal teknolojilerin (DVB-T, DVB-T2, ATSC 3.0, DAB ve DAB+ gibi) yanı sıra internet yayıncılığı ve televizyon akışı da dâhil olmak üzere çeşitli teknolojileri kapsamaktadır. Geleneksel karasal sayısal teknolojilerin avantajlarına ek olarak, FeMBMS kişiselleştirilmiş reklamcılığı mümkün kılarak içerik sağlayıcılara izleyicilerin bireysel tercihlerine göre reklam ve içerik üretme ve yayınlama olanağı sağlamaktadır (Future Forum, 2020:5).

Sürüm 14'te tanıtılan ve FeMBMS sistem mimarisini ve medya formatlarını geliştiren temel özellikler şunlardır (3GPP, 2017: 2-5).

- Yalnızca alma modu: SIM kartı olmayan cihazların (örneğin geleneksel televizyon alıcıları) veya 3GPP alt tanımlamasının eMBMS televizyon hizmetlerinin bir alt kümesine erişmesini sağlamaktadır.
- Ücretsiz yayın hizmetleri: Hizmetler, mobil abone olmayanlar da dâhil olmak üzere tüm kullanıcılar tarafından alınabilecek şekilde dağıtılır.
- xMB arayüzü: Kontrol ve medya içeriği teslimi özelliklerine sahip standartlaştırılmış xMB (yayın uygulama programlama) arayüzü: kontrol için xMB-C ve medya içeriği teslimi için xMB-U.

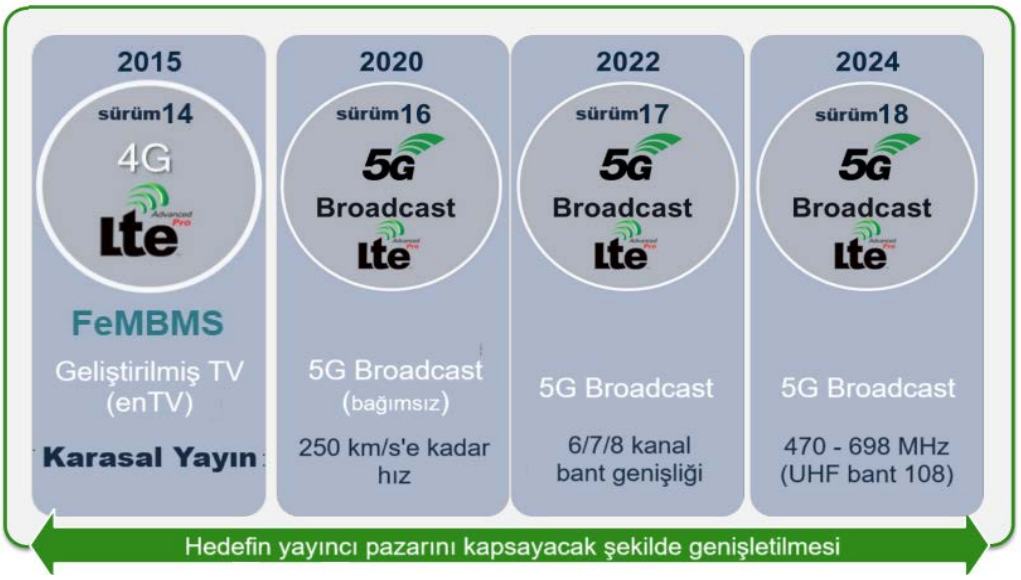
- API: Yeni bir eMBMS Uygulama Programlama Arayüzü (MBMS-API), karmaşık eMBMS prosedürlerine erişimi basitleştirmek için web ve kullanıcı uygulamaları geliştiricileri için tasarlanmıştır.
- Medya formatları: UHD TV'yi desteklemek için Sürüm 14, medya kodeklerini ve formatlarını televizyon yayını için tanımlanan değerlere yükseltmiştir. HDR desteği ise Sürüm 15'te eklenmiştir.
- Şeffaf dağıtım modu: 3GPP medya katmanı hizmetlerinin ötesinde televizyon formatlarını genişletmektedir. Böylece, DVB sistemleri gibi harici içerik formatları da desteklenmektedir. Bu, televizyon yayıncılarının kod dönüştürmeyi atlamasına ve IP üzerinden MPEG-2 taşıma akışı kullanmasına olanak tanıyarak mevcut televizyon alıcılarının yeniden kullanılmasını sağlamaktadır.

Bu iyileştirmelere rağmen FeMBMS, 3GPP Sürüm 15'in 100 km hücre yarıçapına sahip istasyonlar için SFN'nin geniş alanlarını kapsama desteği ve 250 km/s'ye kadar hareketliliği destekleme gibi tüm gereksinimlerini karşılamadığı için 5G'de iletim için bazı sınırlamalara sahipti (Gonsioroski vd., 2023:2). Bu sınırlamaları elimine edebilmek için araştırmalar devam ederek sonraki sürümlerle çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

Haziran 2018'de tamamlanan Sürüm 15, bazı 5G işlevlerini ve "5G Yeni Radyo" (5G-NR) adı verilen yeni bir radyo arayüzünü içeren ilk 3GPP sürümüdür. Sürüm 15, Sürüm 14'ün tüm LTE eMBMS özelliklerini miras almış olsa da 5G-NR bir yayın modu içermemekteydi. Bununla birlikte, yayıncılar ve mobil operatörlerin ortak çabası sonucu, 3GPP Teknik Raporu TR 38.913'ün 5G gereksinimlerini karşılamak üzere LTE eMBMS işlevselliğini daha da geliştirmek için 2019 yılında Sürüm 16 yayınlanmıştır. 3GPP'nin 16. *Sürümü,* FeMBMS'nin kapasitesinin 5G iletimi için tüm gereksinimleri karşılayacak kadar iyileştirilmesi için önemli iyileştirmeler getirmiştir ve yaygın olarak 5G *Broadcast* olarak da tanımlanan *LTE tabanlı 5G Karasal Yayın* olarak yeniden adlandırılmıştır (Gonsioroski vd., 2023:2).

Şekil 34

Hücresel yayın teknolojilerinin 2015 sonrası gelişimi (Dubs, 2024)



4.1.2. 5G Yayını (5G Broadcast)

5G yayıncılık teknolojisi önerisi, Haziran 2017'de yayınlanan 3GPP Sürüm 14'teki Geliştirilmiş Televizyon (EnTV) özelliği ile yapılmıştır (Future Forum, 2020:2). 3GPP Sürüm 14 EnTV, taşınabilir ve mobil cihazlara ulaşma ihtiyacında karasal yayıncılık için önemli bir dönüm noktasını temsil etmektedir. eMBMS teknolojisi, tam bir televizyon yayını uygulamak için uygulama karmaşıklığı ve performans gibi pratik hususları dikkate alarak daha fazla iyileştirmeyi sağlayan FeMBMS (Daha da geliştirilmiş Multimedya Yayın Çok Noktaya Yayın Hizmeti) olarak geliştirilmiştir (XGen Network, 2024: 2).

O zamandan şu ana kadar geçen süre içerisinde 5G yayıncılığına dönüşen 3GPP Sürüm 14 EnTV'nin yeni özellikleri arasında, kablosuz sinyallerin iletimi için daha geniş bir yarıçap, ücretsiz televizyon yayın hizmeti ile birlikte ses, video ve bilgi dağıtımı için arayüzde standardizasyon ve tutarlılık bulunmaktadır. Bu yeni özellikler, sayısal televizyon programlarının dağıtımı için kablosuz televizyon ağlarının mobil ağlarla çoğaltılmasını sağlamak ve mobil ağların yeni ve geliştirilmiş yollarla geleneksel televizyon yayını sunma becerisine katkıda bulunmak üzere tasarlanmıştır (Future Forum, 2020: 2).

Bir içeriğin çok sayıda alıcıya ulaştırılması LTE ve 5G sistemlerinde çok önemli bir kullanım durumudur. Ortak içeriğe, ağdaki tüm alıcılar (geleneksel yayın - broadcast) veya alıcıların bir alt kümesi (çok noktaya yayın - multicast) tarafından erişilebilmektedir. Bire bir iletimin (tek noktaya yayın - unicast) aksine, geleneksel yayın/çok noktaya yayın,

spektrumu verimli bir şekilde kullanarak içerik sunmanın bir yolunu temsil etmektedir. Geleneksel yayın uygulamalarına örnek olarak televizyon yayıncılığı, yazılım güncellemeleri, kamu güvenliği ve acil durum uyarı sistemleri verilebilmektedir (XGen Network, 2024: 1).

5G yayıncılığı, 5G döneminin ana sütunlarından biridir. 5G Yayını (5G Broadcast), 5G ağları üzerinden karasal sayısal yayın içeriğinin çok noktaya yayın iletimini sağlamak için "5G Yeni Radyo (NR)" standardından yararlanan bir teknolojidir. FeMBMS adı verilen çalışma modunu tanımlayan 3GPP Sürüm 16 spesifikasyonuna dayanmaktadır LTE tabanlı olduğu için "LTE Tabanlı 5G Karasal Yayın" olarak da bilinmektedir (5G-Xcast, 2019:13; XGen Network, 2024:2). 5G Broadcast, ETSI TS 103 720 teknik spesifikasyonu aracılığıyla bağımsız bir karasal yayın sistemi olarak ultra yüksek frekans (UHF) bandında dünya çapında bir standart olarak tanımlanarak ITU-R tarafından onaylanmıştır (ETSI, 2023).

5G Broadcast, dikey endüstri sektörlerinde kitlesel pazarda benimsenmesini kolaylaştırmak için kilit öneme sahiptir. Bu, daha geniş paydaş katılımını ve küresel düzeyde tüketicilere maliyeti düşürmek için kritik olan bir ekosistemin oluşturulmasını sağlamaktadır. 5G Broadcast teknolojisi hâlihazırda bu yolda ilerlemektedir. Teknoloji, maliyet ve performansı optimize etmek üzere tasarlanmıştır. 3GPP standartları gelişmeye devam etmekte olup gereksinimler ve kullanım durumları ortaya çıktıkça daha fazla özellik eklenmektedir (TEC, 2023: 14).

3GPP'nin dikey sektörlere genişlemesi ve 5G Broadcast ile birlikte, özel yayın ağlarında çalıştırılacak 3GPP tabanlı teknolojileri kullanan yayın hizmetlerinin bir dizi özel gereksinimi 3GPP TS 22.261 ve 3GPP TR 38.913'te belgelenen 5G Yayın gereksinimlerinin tanımlanmasıyla sonuçlanmıştır. Bu gereksinimlere dayanarak, 3GPP spesifikasyonları, doğrusal televizyon ve radyo hizmetlerinin yayınını desteklemek için kullanım durumlarını ve gereksinimlerini karşılamak üzere (Sengupta vd., 2023: 2):

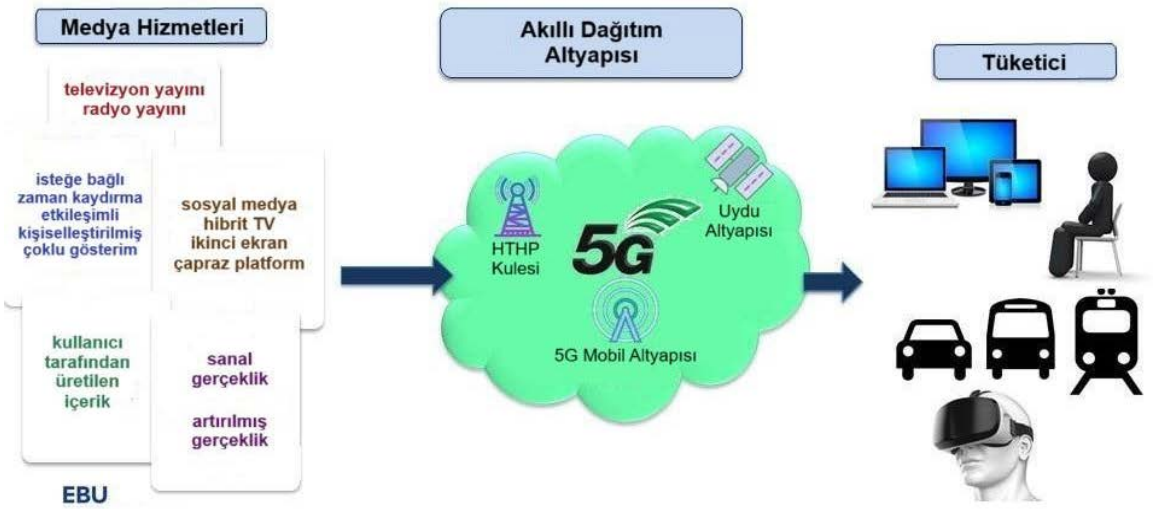
- Mobil ağ operatörü yayın aboneliği olmadan 3GPP üzerinden yayın serbest alış (FTA) hizmetlerin desteklenmesi;
- Yalnızca alma modu cihazlarının (ROM) desteklenmesi;
- İçerik, MBMS hizmeti ve MBMS taşıma işlevlerinin ayrıştırılması;
- Özel, yalnızca aşağı bağlantı ağlarının desteklenmesi ve
- Büyük alanlar arası mesafelere sahip tek frekans ağlarının (SFN'ler) desteklenmesi dikkate alınarak kademeli olarak (Sürüm 16'ya kadar) geliştirilmiştir. Sonrasında, 3GPP'nin Sürüm 17 ile Sürüm 18'inde 6, 7 ve 8 MHz

yayın kanalı bant genişlikleri, UHF spektrumu desteği ve kamu uyarı ve acil durum uyarılarının eklenmesi için ek özel ihtiyaçlar ele alınmaktadır.

3GPP Sürüm 17'de önerilen 5G sistemi hizmet gereksinimleri, geleneksel yayın/çok noktaya yayın bileşik hizmetlerinin 5G sistemlerinin sahip olması gereken temel yetenekler olduğunu belirlemiştir (Sengupta vd., 2023:2). Gelecekteki 5G uygulamalarında, 4K/8K ultra yüksek çözünürlüklü video, çoklu görüntü video, 3D video, sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR), acil durum afet mesajlarının yayınlanması ve çok sayıda IoT terminali için yazılım yükseltmeleri gibi yayın ağı iletiminden yararlanabilecek birçok olası uygulama vardır. Tüm bunlar klasik yayın iletimi yoluyla dağıtılabilmekte ve iletilebilmektedir. Görülebileceği gibi klasik yayın iletimi 5G çağında kritik bir rol oynayacaktır. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi 5G, kablosuz televizyon yayın ağını mobil iletişimin hücresel ağıyla birleştirerek medya dağıtımı için geniş bir uygulama yelpazesi sağlayacaktır (Future Forum, 2020: 3).

Şekil 35

Çeşitli medya hizmetlerinin 5G mobil ağı ile dağıtımı (Arcidiacono, 2019:9)



Mobil endüstri açısından bakıldığında IMT-2020 çerçevesi, 2020 yılına kadar mobil iletişimi geliştirmek için bir vizyon sunmuştur. Bu vizyon, 2020 sonrası iletişim için üç ana senaryo içermektedir: Geliştirilmiş Mobil Geniş Bant (eMBB), Aşırı Güvenilirli ve Düşük Gecikmeli İletişim (URLLC), ve Devasa Makine Tipi İletişim (mMTC). Bu senaryolarla, toplu olarak 5G Yayın ve 5G Broadcast/Multicast hizmetleri

olarak bilinen çeşitli yayın benzeri hizmetler sağlanmaktadır. 5G, kablosuz televizyon yayını ve hücresel mobil ağı birleştirerek medya dağıtımı için geniş bir uygulama alanı sunacaktır (Future Forum, 2020: 3).

5G yayın teknolojisi mobil operatörlere, televizyon şirketleri ve içerik sağlayıcılar için daha fazla işlevsellik ve kontrol sağlama imkânı sunmaktadır. Bu teknolojiyle, televizyon hizmetleri televizyon şirketlerinin, içerik sağlayıcıların, mobil operatörlerin ve tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde daha bağlantılı, birlikte çalışabilir ve etkileşimli hâle gelecektir. Televizyon kanalları ve içerik sağlayıcılar artık doğrudan 3GPP'nin standartlaştırılmış arayüzleri üzerinden hizmet sunabilmektedir (Future Forum, 2020: 2).

Kablosuz televizyon ve içerik sağlayıcılar için 5G yayıncılığı, son cihaz ve pazar erişimlerini genişletme fırsatı oluşturmaktadır. Bu fırsatlardan biri de geleneksel televizyon hizmetlerine taşınabilir ve mobil cihazlardan canlı yayınlar aracılığıyla erişilebilmesidir. Ancak bu, izleyicinin mobil veri kapasitesini hızla tüketmektedir. Kullanıcılar daha fazla ödemeye karar vermedikleri sürece ayda sadece birkaç saatlik doğrusal televizyon yayını izleyebilmektedirler. Bu durum EBU'nun 3GPP'ye sunduğu en önemli gerekliliklerden biri olan doğrusal televizyon hizmetlerinin havadan serbest alış (FTA) şeklinde sunulabilmesi imkânını doğurmuştur. Başka bir deyişle cihazın bir baz istasyonuna bağlı olması gerekmediği anlamına gelmektedir. Bunun yerine, cihaz bir yayın alıcısı gibi davranmaktadır. Bu özellik bazen yalnızca alma modu veya SIM kartsız alım olarak da ele alınmaktadır. SIM kart gerektirmediği için, program içeriği doğrudan hizmet sunularak program içeriğini ücretsiz olarak alımı sağlanacaktır (Gomez-Barquero vd., 2020: 4).

Mobil operatörler 5G yayıncılığını benimseyerek ağlarındaki yükü azaltabileceklerdir. “Düşük Güçlü Alçak Kule (LPLT)” ile birlikte 60 kilometreden fazla iletim yarıçapına sahip bir “Yüksek Güçlü Yüksek Kule (HPHT)” destekleme ağı kullanılabilmektedir. Mobil cihazlarda da HPHT'lerden yayın alımını mümkün kılan uyarlanmış yonga setleri gerekmektedir (Gonsioroski vd., 2023:2). Bu yeni standardın gelişimi, daha iyi ve daha uygun medya kapsamı için mevcut mobil hücresel ağ mimarisini güçlendirmektedir. Hem kentsel hem de kırsal alanlar için çok uygun maliyetli bir ağ mimarisi sağlamaktadır (Future Forum, 2020: 7).

Spor, konser etkinlikleri gibi özel içeriklerin tüketicileri de daha yüksek video kalitesi, daha istikrarlı ve düşük gecikmeli alım ve akış hizmetlerinin garantili gerçek zamanlı kullanılabilirliğinden faydalanacaktır. 5G yayıncılığı sadece canlı ve/veya mobil televizyon için değil, aynı zamanda aynı içeriğin çok sayıda cihaza dağıtılması gereken büyük ölçekli nesnelerin interneti (IoT) için de uygundur. Bu nedenle, mobil ağlar için tek

noktaya yayın modunu kullanmak verimsizken geleneksel yayın modunu kullanmak iyi bir fikirdir. OTA'nın (Over-The-Air) daha verimli kullanılmasına olanak tanıyarak çok sayıda IoT yazılım yükseltmeleri ve grup mesajlaşması yapılmaktadır. Buna ek olarak kamu güvenliği alanında, gerçek zamanlı acil durum bildirimlerini çeşitli cihazlara iletmek için geleneksel yayın modunu kullanmak daha etkili olacaktır (Taga, 2022: 40).

Araç bağlanabilirliği alanında, yeni nesil araçlar daha fazla güvenlik ve daha geniş bir yelpazede otonom sürüş özelliklerini destekleyecektir. V2X (Vehicle to Everything) gibi cihazdan cihaza bağlantılar, araçların ağ ve çevreleriyle etkili bir şekilde iletişim kurmasını sağlayacaktır. 5G yayını, ağın yazılım ve trafik güncellemeleri gibi gerçek zamanlı bilgilerin yanı sıra göz ardı edilemeyecek araç içi eğlence özelliklerini daha verimli bir şekilde sunulacaktır (Yan ve Harri, 2022: 1348).

5G yayıncılığı için bir diğer husus, ultra sağlam iletim modlarına ve frekans yeniden kullanımına sahip geniş bant yayın sistemidir, yani tüm iletim sahaları mevcut tüm frekans kaynaklarını kullanmaktadır. Bu yaklaşım kapasite, kapsama alanı ve %80-90 civarında iletim gücü tasarrufu açısından bir dizi avantaj sağlayabilmektedir (Gimenez vd., 2018: 8).

5G yayıncılığı, giderek kişiselleşen kullanıcı davranışlarına da uyum sağlayabilmektedir. 5G yüksek hızlı veri ağları, mobil ağ ortamlarında eşzamansız program içeriğini dağıtabilmekte ve iletebilmektedir. Böylece isteğe bağlı video (video-on-demand) benzeri hizmetler sağlayabilmektedir. 5G yayıncılığının kişiselleştirilmiş içerik ve konum tabanlı hizmetleri bir araya getirmesi, internet dışı bağlamlarda hedefli reklamcılık gibi çeşitli reklamcılık biçimlerini mümkün kılabilmektedir. Son olarak, 5G yayıncılığının standart versiyonunda, yayınların anonim olarak alınması güvenliği etkilemeyeceğinden, güvenlik sorunları hakkında endişelenmeye gerek kalmamıştır (Future Forum, 2020: 8).

4.1.2.1. 5G Yayın Mimarisi

3GPP'nin 14. sürümünden itibaren tanımlanan özelliklere göre, ana mimari yaklaşım, Geniş alanlı kapsama için HPHT kullanan bir "Radyo Erişim Ağı (RAN)" kapsama ağı aracılığıyla 5G geleneksel yayın/çok noktaya yayın dağıtımı olarak belirlenmiştir.

HPHT vericileri

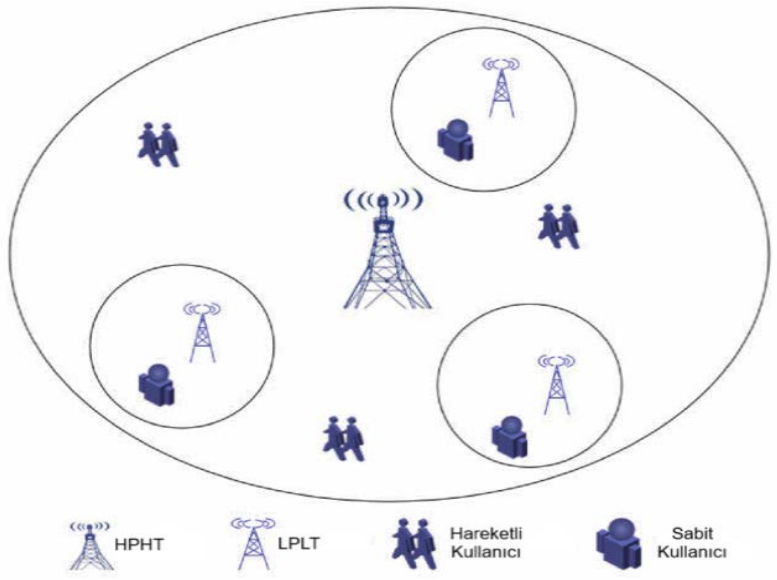
Birkaç kilovata ulaşabilen etkin yayılan çıkış gücünde çalışmaktadır. Verici başına geniş bir kapsama alanı sağlamaktadır. Sonuç olarak, iki komşu istasyon arasındaki mesafe büyüktür.

Geleneksel karasal yayın ağları, “Düşük Güçlü Alçak Kule (LPLT)” vericileri kullanan mobil ağlara kıyasla çok daha büyük siteler arası mesafeye sahip HPHT vericileri kullanmaktadır ve bu da daha küçük yarıçaplı hücrelere neden olmaktadır. Bu nedenle, geniş bir alanı kapsamak için birçok istasyonun konuşlandırılması gerekmektedir. Daha geniş kapsama alanı, tüm vericilerin aynı içeriği sağlamak için aynı frekans aralığını kullandığı tek frekans ağı (SFN) ile elde edilir. Bu tür ağlardaki ana zorluk, kendi kendine girişimin önlenmesidir. Bu sorunu çözmek için OFDM tabanlı ağlarda bir koruma aralığına ihtiyaç vardır. İki komşu istasyon arasındaki mesafenin kendi kendine girişimi önlemek için 10 km'yi geçmemesi gerekmektedir. Ancak bu, HPHT vericilerine dayanan yayın ağları için yeterli değildir, çünkü bir sonraki komşu ile sahalar arası mesafe 100 km'ye kadar ulaşabilmektedir.

5G geniş bant fikri, aşağı bağlantı modunda tam spektrumlu HPHT uygulamalarını hedefleyen FeMBMS ile geliştirilmiştir. Bu durumda veri iletimi artık IP tabanlı değil, daha iyi frekans kullanımıyla daha yüksek kalite ve kaynak tasarrufu sunan geleneksel yayın (broadcast) yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu 3GPP standartları, 60 km'den fazla hücre yarıçapına sahip bir HPHT destek ağı kurarak, medya dağıtımı için daha iyi ve daha geniş kapsama alanı arşivleyerek hücresel ağ topolojisinin geliştirilmesine izin vermektedir (Gimenez, vd., 2018: 5).

Şekil 36

LPLT ve HPHT Ağı



5G Yayın Mimarisi Birimleri

Geleneksel yayın/çok noktaya yayın çekirdek ağı, uçtan uca çözümün bir parçasıdır ve aşağıdaki yeni roller tanımlanmıştır:

- İçerik Sağlayıcı: İçerik sağlayıcı, 5G çok noktaya yayın hizmeti aracılığıyla dağıtılacak multimedya içeriğinin üretilmesinden veya edinilmesinden sorumlu olan kişi/kurumdur.
- 5G Çekirdek Ağ: 5G çekirdek ağı, 5G çok noktaya yayın yayın hizmetlerini desteklemek için temel altyapıyı ve işlevselliği sağlamaktadır.
- BM-SC (Broadcast Multicast Hizmet Merkezi): Üyelik, oturum ve iletim, taşıma, hizmet duyurusu, güvenlik ve içerik senkronizasyonu sağlamaktadır. Farklı MBMS özel kullanıcı hizmetlerini desteklemekte, e-MBMS oturumunu başlatmakta, içerik sunucusundan içerik çekmekte, uygun kodeki uygulamakta ve belirli içerikler için kullanıcı ekipmanlarından alımı toplamaktadır.
- MBMS-GW (eMBMS Ağ Geçidi): MBMS kullanıcı-düzlemi verilerini IP multicast kullanarak eNB'lere dağıtmaktadır. MME aracılığıyla MBMS oturum kontrol sinyallemesini gerçekleştirmektedir. MBMS taşıyıcı oluşturmakta, BM-SC'den gelen MBMS verisini almakta, çok noktaya yayın taşıma adresini tahsis etmektedir.
- MCE (Çok hücreli/multicast Koordinasyon Birimi): MBMS içerik ve kaynaklarını yönetmektedir.
- Erişim Ağı (RAN)*:* RAN, ağın kullanıcı cihazlarıyla arayüz oluşturan ve kablosuz bağlantı sağlayan kısmıdır. 5G çok noktaya yayın hizmetleri bağlamında, RAN aşağıdaki bileşenleri içermektedir (3GPP TS 38.211, 2021; 3GPP TR 23.757, 2021):

    a. 5G Baz İstasyonları (eNB'ler): eNB'ler çok noktaya yayın akışlarını çoklu yayın dağıtım sisteminden alır ve bunları kapsama alanları içindeki kullanıcı cihazlarına kablosuz olarak iletmektedir.

    b. Geleneksel Yayın/Çok Noktaya Yayın Tek Frekans Ağı (MBSFN): MBSFN, çoklu yayın içeriğinin aynı frekans kaynakları üzerinden birden fazla baz istasyonuna eşzamanlı olarak iletilmesini sağlayan RAN'a özgü bir özelliktir. Aynı verileri her baz istasyonundan ayrı ayrı göndermek yerine, ki bu verimsizliğe ve parazite yol açabilmekte, 5G MBSFN yakındaki tüm baz istasyonlarının aynı verileri senkronize olarak iletmesini sağlamaktadır. Bu, daha iyi kapsama alanı, daha az parazit ve yayın veya çoklu yayın içeriği için gelişmiş spektral verimlilik ile sonuçlanmaktadır

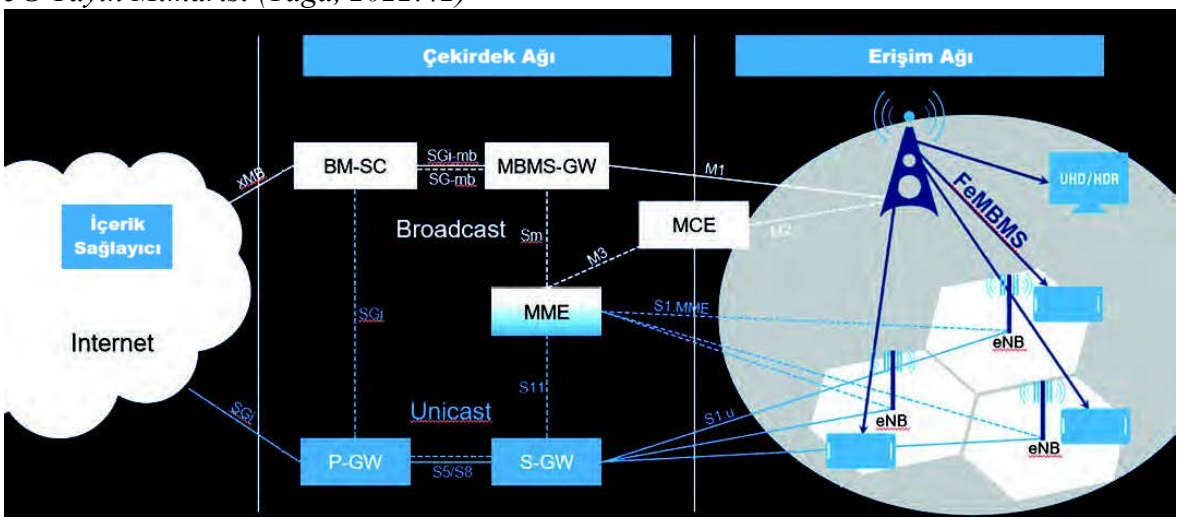
(ETSI, 2020). Çoklu yayın iletimi için verimliliği artırmaya ve paraziti azaltmaya yardımcı olmaktadır.

- Kullanıcı Cihazları: Akıllı telefonlar, tabletler veya diğer 5G özellikli cihazlar gibi kullanıcı cihazları, baz istasyonlarından çoklu yayın/yayın içeriğini alır. Cihazların çoklu yayın akışlarını almak ve kodlarını çözmek için 5G çoklu yayın yayın özelliklerini desteklemesi gerekir (Shurdi ve Lala, 2023: 2; Taga, 2022: 41-42).

5G çok noktaya yayın hizmetlerinin mimarisi, aynı anda birden fazla kullanıcıya verimli içerik sunumu sağlamak için içerik sağlayıcılar, yayın sunucuları, 5G çekirdek ağı, RAN ve kullanıcı cihazları arasındaki koordinasyonu içermektedir.

Şekil 37

5G Yayın Mimarisi (Taga, 2022:42)



5G Yayın tarafından sunulan genel altyapı içinde, dikkate alınması gereken birkaç önemli arayüz bulunmaktadır:

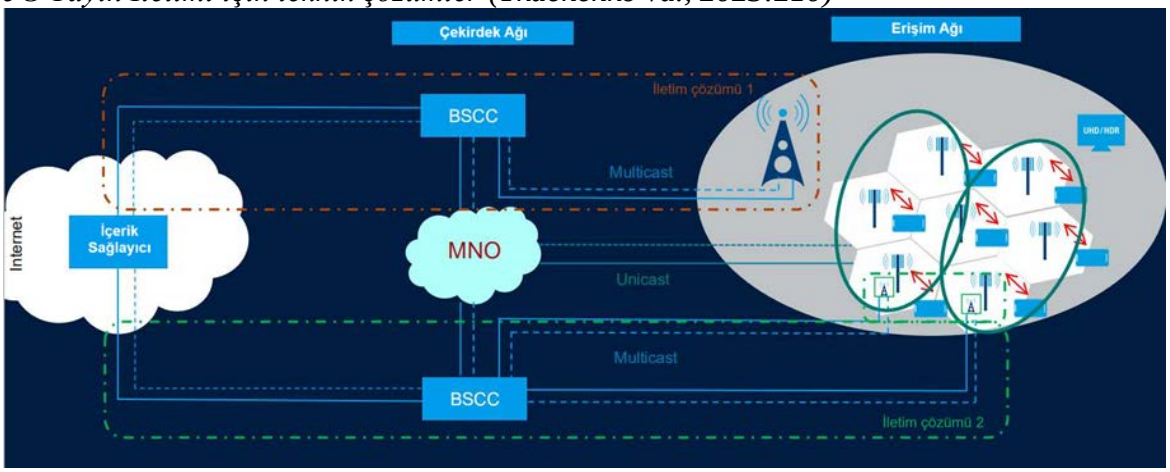
- Sm: MME ile MBMS-GW arasında bulunmaktadır. MBMS servis kontrol mesajlarını ve MBMS verisinin alınması için IP Multicast adresini almaktadır.
- SGi-mb: BM-SC ve MBMS-GW işlevi arasında MBMS veri teslimi için referans noktasıdır.
- SGmb: BM-SC ve MBMS-GW arasında kontrol düzlemi için referans noktasıdır.
- M1: MBMS GW ile E-UTRAN/UTRAN arasındaki MBMS veri teslimi için referans noktasıdır ve burada IP Multicast kullanılarak veri iletilmektedir.
- M2: M2 sinyal taşıyıcısı, M2-AP mesajlarının güvenilir iletimi, ağ yönlendirme işlevi ve sinyal ağı için yedeklilik sağlamaktadır.

- M3: MME ile MCE arasındaki kontrol düzlemi için referans noktasıdır ve M3 “Arayüzü Uygulama Protokolü” ile oturum yönetimi gibi işlevler sağlamaktadır.
- xMB: İçerik sağlayıcıların ve yayıncıların eMBMS sistem işlevlerine erişimini basitleştirmek için standartlaştırılmış xMB (yayın uygulama programlama) arayüzü ile TV hizmetini kurmalarını sağlamaktadır (Taga, 2022:42).

5G geleneksel yayın ve çok noktaya yayın sisteminin olası uygulaması için teknik çözümler Şekil 38'de gösterilmektedir (Tkachenko vd., 2023:210).

Şekil 38

5G Yayın İletimi için teknik çözümler (Tkachenko vd., 2023:210)



Çözüm 1: İçerik sağlayıcılarından gelen içerik ve veriler, telekomünikasyon ağı aracılığıyla Geleneksel Yayın Hizmeti Kontrol Merkezi'ne (BSCC) iletilmektedir. Burada işlenen içerik ve veriler, sayısal karasal televizyon istasyonlarına aktarıldıktan sonra geniş kapsama alanlarındaki kullanıcılara çok noktaya yayın modunda yayınlanmaktadır (Tkachenko vd., 2023:210).

Çözüm 2: İçerik sağlayıcı, içeriği ve verileri çekirdek ağ üzerinden BSCC'ye aktarmaktadır. Daha sonra veriler mobil operatör ağı üzerinden baz istasyonlarına iletilmektedir. Her baz istasyonu bu verileri çok noktaya yayın modunda kendi hücresi içinde dağıtmaktadır. Kullanıcılar, bu hizmetleri akıllı telefonları veya diğer mobil cihazları üzerinden alabilmektedir (Tkachenko vd., 2023: 210).

Mobil operatör ağı üzerinden tek noktaya yayın iletiminin kullanılması da her iki durumda da mümkündür. Bu sayede ek kişisel hizmetler ve etkileşimli hizmetler için geri dönüş yukarı bağlantı kanalı sağlayabilmektedir. Her iki çözümün bir arada uygulanması da mümkündür.

Dağıtım için çözüm seçimi şebeke operatörünün önceki geçmişine bağlıdır. İlk çözüm yayın operatörü ağı için daha az değişiklik gerektirir ve geniş alanlarda iletim için mevcut DTV kulelerini ve vericilerini kullanabilir. İkinci çözüm, mobil kullanıcılar için baz istasyonları içeren 5G iletim altyapısının inşasını gerektirmektedir, bu nedenle bu tür bir ağın tüm yapısı mobil operatörler için nispeten daha uygun olacaktır.

5G Yayını İletim Modları

5G Broadcast için Qualcom tarafından kullanım durumlarına göre iki yayın iletimi modunu tanımlamaktadır: 5G bağımsız (standalone) yayın ve karma modlu çok noktaya yayın (3GPP RAN 75 RP-170449, 2017; Qualcomm, 2021).

5G bağımsız yayın, yayıncıların ve içerik sağlayıcıların ihtiyaçlarını karşılayabilen ve hem sabit hem de mobil cihazlara verimli içerik sunumu yoluyla daha geniş kitlelere erişmelerini sağlayan, yalnızca yayın yapan özel bir ağdır (Hücresel ağlardan bağımsızdır). Mevcut UHF spektrumunda konuşlandırılabilir ve mevcut hücresel bağlantı yapı taşlarını yeniden kullanabilir. 5G bağımsız yayın, yalnızca alma modunu, yalnızca aşağı bağlantı modunu, özel yayın spektrumunu ve daha fazlasını desteklemektedir (Qualcomm, 2021).

Şekil 39

5G Bağımsız Broadcast modu (Qualcomm, 2021)



Karma modlu çok noktaya yayın, aynı içeriği daha verimli bir şekilde sunmak için tek noktaya yayın ve geleneksel yayın arasında dinamik mod geçişini destekleyen düşük güçlü bir ağdır. Karma mod kullanım durumu, tek noktaya yayın çözümüne tamamen

entegre olan dahili çok noktaya yayın/ geleneksel yayın dağıtım optimizasyon araçları sağlayacaktır. Verimli eMBB dağıtımı, IoT, V2X ve kamu güvenliği gibi daha geniş 5G kullanım durumlarını destekleyebilmektedir (Qualcomm, 2021).

Şekil 40

5G Broadcast karma mod (Qualcomm, 2021)



4.1.2.2. 5G Yayının Teknik Özellikleri

Frekans Bantları: 5G yayın hizmetleri bant bazlı olarak tanımlanmıştır ve 6 GHz altı ve milimetre dalga (mm Dalga) bantları da dâhil olmak üzere çeşitli frekans bantları üzerinden sunulabilmektedir. Frekans bandının seçimi özel kullanım durumuna, ağ mimarisine ve yerel düzenlemelere bağlıdır. 5G Yayın hizmetleri UHF bantları üzerinden iletilmek üzere tasarlanmıştır (TEC, 2023: 17).

Modülasyon Şemaları: 5G yayın hizmetleri, multimedya içeriğini ağ üzerinden iletmek üzere kodlamak için 16-QAM, 64-QAM ve 256-QAM gibi çeşitli modülasyon şemaları kullanabilmektedir (TEC, 2023: 17).

Çekirdek Ağ Mimarisi: 5G Dönemi hizmetlerinde karasal yayın için çekirdek ağ mimarisi, ağ üzerinden geleneksel yayın/çok noktaya yayın içeriğinin dağıtımını yönetmekten sorumlu olan bir geleneksel yayın/çok noktaya yayın hizmet merkezi (BM-SC) içermektedir (TEC, 2023: 17).

Medya Dağıtım Yöntemleri: 5G yayın hizmetleri, son kullanıcılara multimedya içeriği sunmak için "Tek Yönlü Aktarım Üzerinden Dosya Dağıtımı (FLUTE)", MPEG-2 Aktarım Akışı (TS) ve MPEG-DASH gibi çeşitli medya dağıtım yöntemlerini kullanabilmektedir (TEC, 2023: 17).

Gecikme Hızı: 5G yayın hizmetleri, spor etkinliklerinin veya konserlerin canlı yayınlanması gibi gerçek zamanlı multimedya deneyimlerini mümkün kılmak için özel olarak 10 ila 100 milisaniye arasında düşük gecikme süresine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır (TEC, 2023: 17).

Hizmet Kalitesi (QoS): 5G hizmetlerinde karasal yayın, multimedya içeriğinin uygun kalite ve güvenilirlik seviyesiyle sunulmasını sağlamak için en iyi çaba ve garantili bit hızı dâhil olmak üzere çeşitli QoS seviyelerini desteklemektedir (TEC, 2023: 17).

Güvenlik: 5G hizmetlerinde karasal yayın, multimedya içeriğinin ve ağın gizliliğini ve bütünlüğünü sağlamak için şifreleme ve kimlik doğrulama gibi çeşitli güvenlik özellikleriyle tasarlanmıştır (TEC, 2023: 17).

4.1.2.3. 5G Yayının Spektrum Kullanımı

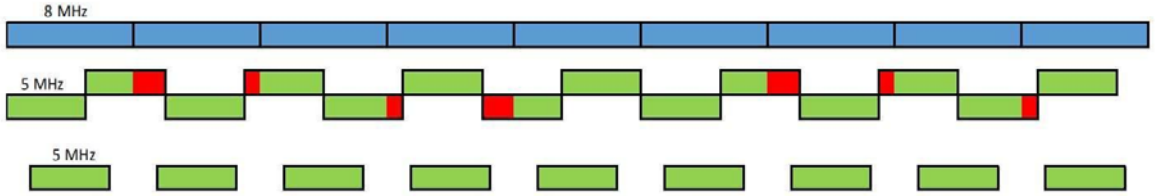
Rusya, Avrupa ve diğer birçok ülkede 700 MHz'in altındaki UHF frekansları karasal sayısal televizyon için kullanılmaya devam etmektedir. ITU Bölge 1'de UHF bandının 470 - 694 MHz olan kısmı hâlâ sayısal televizyon için kullanılmaktadır, bu nedenle UHF bandında sayısal televizyon ve 5G Yayın sistemlerinin birlikte var olması için olası senaryoların araştırılması önemlidir (CEPT, 2016). Olası senaryolar arasında GE06 Anlaşmasına göre sayısal televizyon kanal atamalarının kullanılması, televizyon yayını için kullanılmayan boş frekansların kullanılması veya UHF bandının bölümlere ayrılması sayılabilmektedir (EBU TR054, 2020; EBU TR063, 2021; EBU TR064, 2021; ETSI TS 103 720, 2023).

5 MHz Blokları Kullanan 5G Yayın Hizmetleri

5G Yayın teknolojisinin ilk denemelerinde genellikle mobil hizmetler için geleneksel 3GPP spesifikasyonlarıyla uyumlu olan 5 MHz veya 10 MHz yayın sistemi bant genişliği kullanılmaktadır. Bu durumda 5 MHz bloklar 8 MHz televizyon kanalı atamaları içinde düzenlenebilmektedir. Şekil 41'de 5 MHz blokların düzenlenmesi için iki olası yol gösterilmektedir 8 MHz televizyon kanallarının dağılımı Şekil 41'deki ilk satırda gösterilmektedir. İkinci satır, 5 MHz blokların boşluksuz olarak yakın yerleştirildiği durumu göstermektedir. Bu durumda 5 MHz blokların merkezleri 8 MHz televizyon kanallarının merkezlerine karşılık gelmez. Bu durumda komşu TV kanallarıyla önemli ölçüde parazit oluşmaktadır (spektrum paraziti alanları Şekil 41'de kırmızı renkle gösterilmiştir) (EBU TR054, 2020).

Şekil 41

8 MHz TV kanal planında 5 MHz 5G Yayın bloklarının olası düzenlemeleri (Tkachenko vd., 2023:211)



5 MHz'lik blokların sayısal televizyon kanallarının 8 MHz'lik bant genişliğinin merkezine yerleştirildiği durum üçüncü satırda gösterilmektedir. Bu durumda 5 MHz'lik blokların merkezleri 8 MHz'lik televizyon kanallarının merkezleri ile çakışmakta ve komşu televizyon kanalları ile herhangi bir girişim olmamakla birlikte spektrum kullanımının verimliliği yüksek değildir. Bu durumda spektrum kullanım oranı yaklaşık %62,5'tir (Tkachenko vd., 2023: 211).

8 MHz Blokları Kullanan 5G Yayın Hizmetleri

5G Yayını için 8 MHz bloklarının kullanımı başlangıçta 3GPP spesifikasyonlarında mevcut değildi. Ancak olası seçenek Esnek bant genişliğinin (5, 6, 7, 8 MHz) kullanımı 3GPP Sürüm 17 ile yapılan çalışmalar çerçevesinde değerlendirilmiştir (Taga, 2022:44). Bu durumda 5G Broadcast'in 8 MHz'lik blokları, 8 MHz bant genişliğini de kullanan mevcut karasal sayısal televizyon bant planları içinde doğrudan düzenlenebilmektedir (Şekil 42) (EBU TR064, 2021). Bu durumda sayısal televizyon ve 5G Yayın kanallarının karışımı, bandın belirli hizmet türlerine ayrılmış alt bantlara bölünmesine gerek kalmadan UHF bandında potansiyel olarak kullanılabilmektedir. Bununla birlikte, bu yaklaşım da frekans planlaması ve mevcut televizyon kanallarının olası yeniden düzenlenmesi konusunda önemli çalışmalar gerektirebilir. Bu durumda farklı hizmet türlerinin olası etkileşimi konuları da ayrıntılı olarak incelenmelidir.

Şekil 42

Sayısal karasal televizyon frekans planı içinde 8 MHz 5G Yayın blokları (Tkachenko vd., 2023:211)



Sayısal Televizyon Kanal Bağlantısı ile 5G Yayını

10 MHz 5G Yayın blokları, 5 MHz bloklara kıyasla kanal multipleksi içinde en az iki kat daha fazla yayın programı, video/ses içeriği ve veri içerebilmektedir. Bu nedenle, 10 MHz 5G Yayın bloklarının yanı sıra 15 MHz ve 20 MHz'lik bloklar pratik olarak makul olabilmektedir. Ancak 8 MHz sayısal televizyon frekans bandı planları dâhilinde 10, 15 veya 20 MHz blokların basit kullanımının bitişik televizyon kanalları ile güçlü parazite neden olacağı açıktır. Olası bir çözüm, 5G Yayın hizmetleri için 2 veya daha fazla bitişik televizyon kanalı kullanıldığında sayısal televizyon kanal bağının kullanılmasıdır. Sayısal televizyon kanal bağlama senaryosu için bir dizi olası durum vardır. Örneğin, 16 MHz sayısal televizyon kanal çiftlerinin merkezlerine ortalanmış 10 MHz 5G Yayın bloklarının kullanımı, 8 MHz kanallar içinde ortalanmış 5 MHz bloklarla aynı oranda spektrum kullanımı sağlayabilir (%62,5), ancak 16 MHz kanal çiftleri içinde 15 MHz blokların kullanımı neredeyse %94 spektrum kullanımı sağlayacaktır. Ancak sayısal kanal bağlama senaryosunun pratikte uygulanması oldukça zor olabilmektedir, çünkü mevcut bant planlarında sayısal kanal frekans çiftlerini serbest bırakmak kolay olmayabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, UHF bandının önemli bir kısmının yeni tip geleneksel yayın ve çok noktaya yayın hizmetleri için tamamen tahsis edildiği bant bölümleme senaryosu daha makul görünmektedir (EBU TR054, 2020; Tkachenko vd., 2023: 211).

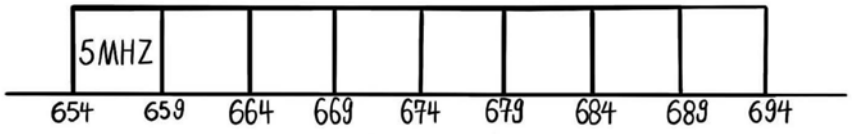
UHF Bandı Bölümlemesi Kullanılarak 5G Yayını

Bu senaryo, 5G Broadcast ve Multicast hizmetlerinin aşağı bağlantı iletimi için bir dizi bitişik 8 MHz kanal dâhil olmak üzere sayısal televizyon UHF bandının bazı bölümlerinin olası kullanımını değerlendirmektedir. UHF bandının bu tür bölümleri segment olarak adlandırılabilir. Bu tür segmentlerin boyutu ve konumu ile ilgili birçok olası seçenek vardır.

Olası bir seçenek olarak, 5 MHz'lik blokların tam sayısına sahip segmentin 8 MHz'lik televizyon kanallarının tam sayısına sahip açıklığa sığması için böyle bir segment boyutunu düşünmek makul olabilmektedir. Bu tür bir segmentin minimum boyutu beş adet 8 MHz televizyon kanalına veya sekiz adet 5 MHz bloğa karşılık gelen 40 MHz'dir. Bu 40 MHz'lik segmentler, sayısal televizyon kanallarının yeniden atanması için gerekli çalışmaların hacmine bağlı olarak UHF bandının herhangi bir yerinde bulunabilir, ancak en makul yer UHF bandının üst kısmıdır, çünkü sayısal televizyon yayınından kablosuz iletişim hizmetlerine geçiş için sayısal bölüşüm frekansları UHF bandının üst kısmında yer almaktadır. 700 MHz bandı zaten kablosuz iletişim için tasarlanmıştır. Bu durumda, 5G Broadcast ve Multicast hizmetleri için ek bir 40 MHz segmenti 700 MHz altı bandın üst kısmına yerleştirilebilir. Şekil 43 bu senaryoyu göstermektedir (EBU TR054, 2020; Tkachenko vd., 2023: 211).

Şekil 43

700 MHz altı bandın üst kısmında 5 MHz'lik 8 blok içeren 5G Yayın segmenti (Tkachenko vd., 2023:212)

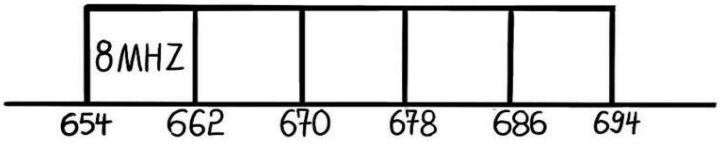


Bu durumda 5G Yayını için kullanılan frekans segmentlerinin boyutu da 40 MHz ile orantılı olabilir (örneğin, 80 MHz, 120 MHz, vb.) ve segmentler, ücretsiz televizyon kanallarının mevcudiyetine ve olası kanal yeniden düzenlemelerine bağlı olarak UHF bandının diğer bölümlerine yerleştirilebilmektedir (EBU TR054, 2020; Tkachenko vd., 2023:212).

3GPP tarafından Sürüm 17'de dikkate alınan olası esnek 5/6/7/8 MHz bant genişliği dikkate alındığında, Şekil 44'te gösterildiği gibi segment çerçevesinde beş adet 8 MHz 5G Yayın bloğu kullanmak mümkün olabilmektedir. Bu durumda 8 MHz 5G Yayın kanalları GE06 sayısal televizyon planı çerçevesinde bağımsız olarak kullanılabilse de, planlama sorunları nedeniyle 5G Yayın için tüm segmenti kullanmak makul olabilmektedir Ayrıca bu durumda, bitişik kanallardaki karasal sayısal televizyon yayını ve 5G Yayın hizmetlerinin uyumluluğuna ilişkin daha az olası sorun vardır.

Şekil 44

8 MHz'lik 5 bloklu 5G Yayın segmenti (Tkachenko vd., 2023:212)

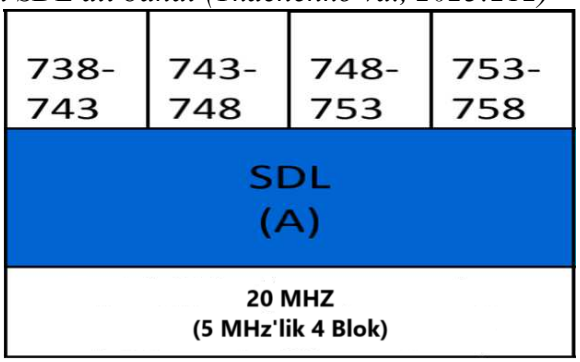


700 MHz Bandının Ek Aşağı Bağlantısında 5G Yayını

700 MHz bandı Avrupa'da hâlihazırda kablosuz hizmetler için kullanılmaktadır. Diğer bazı ülkeler de benzer planları değerlendirmektedir. Bu nedenle 5G Yayın ağlarının olası konuşlandırılması, bu bant için ilgili frekans planlarına uygun olarak düşünülebilmektedir. Bu frekans planları 700 MHz bandı için dört adet 5 MHz'lik blok içeren "Ek Aşağı Bağlantı (Supplemental Downlink - SDL)" alt bandını (738 - 758 MHz) içermektedir (CEPT, 2016). SDL frekans bloklarının olası kullanımına ilişkin kararların bölgesel düzeyde alınması beklenmektedir. SDL alt-bandının kullanımında esneklik sağlayacaktır.

Şekil 45

Dört adet 5 MHz bloklu SDL alt bandı (Tkachenko vd., 2023:212)



5G Yayını için ek alt bandın olası kullanımına ilişkin konsept Şekil 45'te gösterilmiştir. Bu konsepte göre, bu alt bantta sıfırdan 5 MHz'lik dört bloğa kadar kullanmak mümkündür. Böylece, bu dört blok 5G Broadcast hizmetleri için kullanılabilmektedir. Alternatif olarak, SDL alt bandında iki adet 10 MHz 5G Broadcast bloğu düzenlenebilmektedir. SDL'de 15 MHz ve 20 MHz 5G Yayın bloklarının kullanılması da mümkündür (CEPT, 2016).

4.1.2.4. 5G Yayın Kullanım Durumları

5G yayıncılığı, yayın içeriğini sunma ve kullanma şeklinde önemli yenilikleri ortaya çıkarmıştır. Bu çığır açan teknoloji, hem yayıncılar hem de izleyiciler için yayıncılık deneyimini önemli ölçüde değiştirecek çeşitli durumlar sunmaktadır.

5G Yayıncılık Faydaları

Tek Küresel Standart: Çeşitli seçenekler sunan diğer protokollerin aksine, 3GPP dünya çapında 5G Yayını için tek ve birleşik bir standart oluşturmuştur. Bu, entegrasyonu basitleştirerek yayıncıların farklı üreticilerin ekipman ve donanımları arasında uyumluluk sağlamaktadır (XGen Network, 2024: 5).

Verimli İçerik Dağıtımı: 5G yayını, bire çok iletimi mümkün kılarak içerik dağıtımını optimize edebilmektedir. Aynı içeriği birden fazla kullanıcıya tek seferde göndermek yerine, 5G yayını aynı anda birden fazla cihaza verimli bir şekilde dağıtım yapılmasını sağlayarak ağ tıkanıklığını azaltmakta ve kaynakları korumaktadır. 5G Yayıncılığı, hâlihazırda televizyon yayıncıları tarafından kullanılan UHF spektrumunu kullanarak iletimi daha sorunsuz hâle getirmektedir (Shurdi ve Lala, 2023: 13).

Maliyet ve Spektrum Verimliliği: 5G ağları üzerinden içerik yayınlamak maliyet ve spektrum verimliliği avantajları sunmaktadır. Operatörler, yayın teknolojilerinden yararlanarak canlı spor etkinlikleri veya son dakika haberleri gibi popüler içerikleri tek tek yayınlamaya gerek kalmadan geniş bir kitleye ulaştırabilmektedir. Bu, mevcut spektrumu daha verimli kullanırken ağ trafiğini ve ilgili maliyetleri azaltmaktadır (Shurdi ve Lala, 2023: 13; XGen Network, 2024: 5-6).

5G Broadcast, şu anda geleneksel yayıncılık tarafından desteklenmeyen H.265 ve H.266 gibi modern sıkıştırma tekniklerini kullanarak spektrum kullanımını optimize etmektedir. Bu, yayıncıların aynı frekans bantları üzerinden daha fazla içerik sunmasını sağlayarak spektral verimliliği en üst düzeye çıkarmaktadır (XGen Network, 2024: 5).

Mobil Öncelikli Kitle: 5G Yayın, 5G yayın özellikli modem yonga setine sahip herhangi bir cihaz tarafından doğrudan alınabilmekte ve çok daha geniş bir kitleye ulaşabilmektedir. Geleneksel televizyon yayıncılığı, özellikle mobil cihazlara büyük ölçüde kullanan genç demografik gruplar arasında azalmaktadır. 5G yayıncılık yayın istasyonlarının içeriği doğrudan akıllı telefonlara ve tabletlere sunmasına ve bu mobil öncelikli kitleyi yakalamasına olanak tanımaktadır (XGen Network, 2024: 6).

Çoklu Platform Dağıtımı: 5G Yayın, çoklu platform dağıtımını destekleyerek içeriğin akıllı telefonlar, tabletler, akıllı televizyonlar ve IoT cihazları dâhil olmak üzere çeşitli cihazlara ve ağlara sorunsuz bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır. Bu, izleyicilerin içeriğe her zaman, her yerde ve her cihazdan erişmesini sağlayarak platformlar arasında sorunsuz ve tutarlı bir izleme deneyimi sağlamaktadır (XGen Network, 2024: 6).

Genişletilmiş Erişilebilirlik: 5G Yayını, sınırlı altyapıya sahip yetersiz hizmet alan topluluklar ve zayıf bağlantıya sahip alanlar veya uzak bölgelere ulaşarak medya içeriğine erişimi genişletmektedir. Sağlam kapsama alanı ve nüfuz özellikleri, yayıncıların kırsal kesimdekiler de dâhil olmak üzere daha geniş bir kitleye içerik sunmasını sağlamaktadır (XGen Network, 2024: 6).

Altyapı Avantajı: Televizyon istasyonları hâlihazırda kurulu yayın kulelerine ve iletim ekipmanlarına sahiptir. 5G yayıncılığı, modülatör değişikliği ile mevcut altyapıyı kullanarak ek yatırım ihtiyacını en aza indirmektedir (XGen Network, 2024: 6).

5G Yayını Kullanım Durumları

Geleneksel Televizyon Yayını: 5G Broadcast, aynı akışın iletimi için bant genişliği gereksinimlerini azaltan H.265 (ve gelecekte H.266/AV1) gibi en yeni kodlama ve sıkıştırma standartlarının kullanılmasına olanak tanıyarak çok daha yüksek çözünürlüklü içeriğin çok daha düşük bant genişliği kullanılarak iletilmesini sağlamaktadır. Bu, geleneksel yayının aynı frekans bant genişliğini kullanarak çalıştırdığı alt kanal sayısını önemli ölçüde artırmaktadır (XGen Network, 2024: 9).

Kamu Uyarı Sistemleri: 5G yayınları kamu uyarı sistemlerinde çok önemli bir rol oynayabilmektedir. Acil durum uyarılarının, afet bildirimlerinin ve güvenlikle ilgili bilgilerin belirli bir alandaki çok sayıda kullanıcıya eşzamanlı olarak dağıtılmasını sağlamaktadır. Bu, acil durumlar sırasında kritik iletişimin etkinliğini ve zamanla uyumluluğunu artırabilmektedir (Shurdi ve Lala, 2023:13). Küresel bir acil durum uyarı sistemi ile kullanılmasıyla acil durum uyarılarının kullanıcılar tarafından kendi ülkeleri dışında seyahat ederken bile alınmasını sağlamaktadır (XGen Network, 2024: 8).

Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları: 5G yayını, verimli ve ölçeklenebilir içerik dağıtımı gerektiren IoT uygulamalarını destekleyebilmektedir. Örneğin, akıllı şehirlerde, trafik sinyalleri, sokak lambaları ve sensörler gibi çok sayıda bağlı cihaza bilgi yaymak için 5G yayınları kullanılabilecek, böylece senkronize güncellemeler ve gerçek zamanlı veri paylaşımı sağlanabilecektir (Shurdi ve Lala, 2023: 13).

Araçlara İçerik Dağıtımı: 5G yayını, yüksek çözünürlüklü video, müzik ve gerçek zamanlı güncellemeler dâhil olmak üzere canlı içeriğin doğrudan araçlara iletilmesini sağlayarak araç içi eğlence ve bilgi hizmetlerini geliştirebilmektedir. Bu, yolcular için kesintisiz ve kişiselleştirilmiş bir eğlence deneyimi sağlayabilmekte ve bireysel veri bağlantılarına olan bağımlılığı azaltabilmektedir (Shurdi ve Lala, 2023: 13).

Uzaktan Eğitim / Kamu yararı: Ticari uygulamaların ötesinde, 5G Broadcast, kamu yararına içerik dağıtımı için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Hükümetler, acil durumlarda veya eğitim amaçlı kritik bilgileri yaymak için bu teknolojiden yararlanabilmektedir. 5G Broadcast teknolojisi, verimli bant genişliği kullanımını sürdürürken bu tür yararlı kanalların önemli ölçüde daha fazla konuşlandırılmasını kolaylaştırmaktadır (XGen Network, 2024: 9).

Acil Durum Konuşlandırması: Aşırı hava koşulları gibi çeşitli durumlarda, acil durum hizmetlerinin yetersiz veya tehlikeye atılmış iletişim kurulumunun olduğu alanlarda konuşlandırılması gerekmektedir (XGen Network, 2024: 9).

Acil Durum Yedeklemesi: Hücre hizmetlerinin ve internetin kesildiği bir acil durum senaryosunda, 5G Broadcat yedek iletişim kanalı sağlamaktadır. Verileri 5G Broadcast'e aktararak ağ tıkanıklığının hafifletilmesi, ilk müdahale ekiplerinin etkili eylemleri için önemli bilgiler almasını sağlayacaktır (XGen Network, 2024: 8).

5G Yayını Zorluklar ve Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar

Teknolojinin Erken Aşaması: 5G Yayıncılığı hâlen geliştirilme aşamasındadır. Denemeler devam etmekle birlikte, hem yayıncılar hem de mobil cihaz üreticileri tarafından yaygın olarak benimsenmesi yakın gelecekte gerçekleşecektir (XGen Network, 2024: 10).

Cihaz Uyumluluğu: Şu anda tüm akıllı telefonlar 5G yayınlarını almak için gerekli donanıma sahip değildir. Tüketicilerin, 5G Broadcast frekanslarını almak için filtrelenmiş, güncellenmiş yazılım ve yonga setlerine sahip gelecekteki telefon modellerini beklemeleri gerekmektedir (XGen Network, 2024: 10).

İçerik Stratejisi: Yayıncıların, dikkat süreleri daha kısa olan ve isteğe bağlı içeriği tercih eden mobil kitleye hitap eden ilgi çekici bir içerik stratejisi geliştirmeleri gerekecektir (XGen Network, 2024: 10).

Düzenleme ve Standartlar: 5G Yayıncılığı için düzenleyici çerçeveler ve teknik standartlar için araştırmalara devam edilmektedir (XGen Network, 2024:10).

4.1.3. 5G Yayın Denemeleri ve Projeleri

5G Broadcast sistemlerinin geniş çapta benimsenmesi ve mevcut yayın sistemleriyle uyumluluğunun sağlanması amacıyla dünya üzerinde birçok ülkede saha denemeleri yapılmaktadır. Saha denemeleri ve yayın işbirlikleri, 5G teknolojilerinin medya yayıncılığındaki potansiyelini gösterirken, mevcut yayın altyapıları ile birlikte kullanılabilirliğini artırmayı amaçlamaktadır.

4.1.3.1. Eurovision Şarkı Yarışması (2022) 5G Yayını

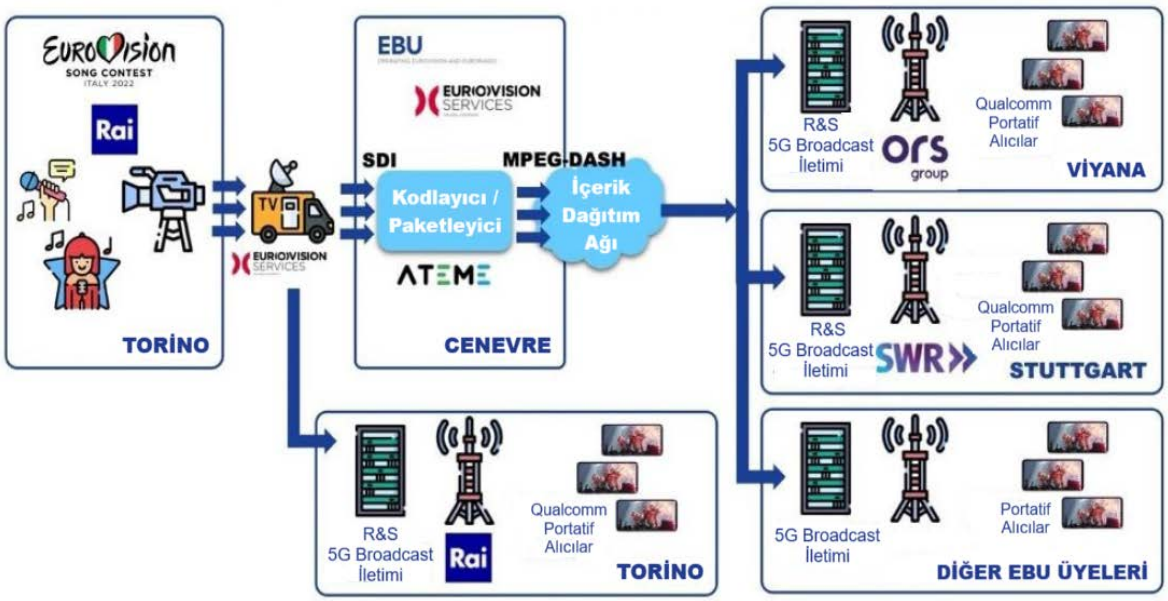
Eurovision Şarkı Yarışması'nın 2022 yayınları sırasında Fransa, Almanya, İtalya ve Avusturya'da 5G Broadcast (3GPP Sürüm 16 – 600 MHz bandı) teknolojisi kullanılarak ilk defa çok bölgeli yayın denemeleri gerçekleştirilmiştir. Etkinlik sırasında 5G Broadcast sinyali, 4 Avrupa kentindeki sahalardan aynı anda canlı ve yüksek kalitede iletilmiştir. Paris, Stuttgart, Torino ve Viyana'daki 5G Broadcast özellikli akıllı telefonlara sahip seçilmiş bir kullanıcı grubu bu yayınları izlemiştir. Bu denemede amaç 5G teknolojinin medyaya ve milyonlarca izleyiciye getirebileceği değeri göstermek olmuştur (EBU committee, 2022: 6-7).

Eurovision Şarkı Yarışması 2022 5G Yayın denemeleri için EBU ve üyeleri SWR (Stuttgart), ORS Group (Viyana), France Télévisions (Paris) ve RAI (Torino), Eurovision sinyal iletimi için Eurovision Services, kodlama ve akış için Ateme, iletim ekipmanı için Rohde & Schwarz ve prototip 5G Yayın uyumlu telefonlar için Qualcomm ile işbirliği yapılmıştır (5G-Mag, 2022).

Sinyal RAI tarafından üretilmiştir ve Cenevre'deki "Eurovision Services merkezine teslim edilmiştir. Ateme video kodlayıcısı, sinyali ORS, SWR ve France TV'nin sinyalini Qualcomm prototip el cihazlarına yeniden iletebildiği bir içerik dağıtım ağı uç noktasına göndermiştir.

Şekil 46

Eurovision Yarışması (2022)'nda 4 sahalı 5G Broadcast denemesi kurulum şeması (EBU committee, 2022: 7)



Denemeler, mobil ağların canlı yayınlarda geniş kitlelere yüksek kalitede içerik sağlama potansiyelini incelemeye odaklanmıştır. Bu denemeler, kullanıcıların SIM kart gerekmeden yayınları ücretsiz izlemelerine olanak tanımıştır.

Deneme sonucunda, 5G Broadcast teknolojisi, hem frekans spektrumunun daha verimli kullanılması hem de kapasite sorunlarının azaltılması yönünde umut verici bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Denemeler, mobil kullanıcıların cihazları üzerinden ücretsiz erişim sağlayarak, 5G yayın altyapısının geniş bir erişim ağı oluşturabileceğini göstermiştir (EBU committee, 2022: 6-7).

4.1.3.2. Çin

Denemeler, Pekin, Şangay ve Nanjing gibi büyük metropollerde, yüksek ve düşük güçteki kulelerin entegrasyonu (HPHT ve LPLT) gibi farklı kurulum senaryolarında gerçekleştirilmiştir. 5G Broadcast altyapısının verimliliğini ve kapsama alanını doğrulamak amacıyla yapılmıştır.

Pekin'deki Yüksek Kule Yayın Denemesi

Pekin'de yapılan deneyler, yüksek kuleden geniş alan kapsama testi ve düzenli baz istasyonu dağıtımı şeklinde yapılmıştır. Pekin TV kulesinde, antenlerin 200 metre yüksekliğe yerleştirilmesiyle 758-768 MHz aralığında 10 MHz bant genişliğiyle yayın yapılmıştır. Bu testlerde yüksek binaların olduğu kentsel alanlar ile yüksek hızlı otoyollar gibi farklı kullanım durumları ele alınmıştır. Sonuçlara göre, kullanılan test cihazları şehir içi ve kırsal güzergahlarında yüksek hızda hareket ederken dahi kaliteli video yayını alabilmiştir; bazı noktalarda ise 13 km mesafede bile kesintisiz yayın alınabilmiştir. Yüksek binaların yoğun olduğu rotalarda ise sinyal güç kaybı yaşanmış, kapsama alanı daralmıştır. Bu durum, büyük şehirlerde sinyal kalitesinin binaların etkisine bağlı olduğunu ve kule yüksekliğinin kapsama performansı üzerinde kritik bir rol oynadığını göstermiştir (ITU-R BT.2526-0. 2023: 12-17).

Şangay'daki Oriental Pearl TV Kulesi Üzerindeki Deneme

Şangay'da 320 metre yüksekliğinde Oriental Pearl TV kulesinde gerçekleştirilen denemelerde, 758-768 MHz frekans aralıkları kullanılarak geniş kapsama alanı sağlanmıştır. Deneme kapsamında canlı televizyon akışları ve acil durum yayınları gibi hizmetlerin teknik fizibilitesi test edilmiştir.

Şangay testleri, 15 km'ye kadar olan mesafelerde çok açılı görüntüleme, VR yayınları ve panoramik video hizmetlerinin kesintisiz sunulabildiğini ortaya koymuştur. Özellikle 700 MHz bandında yapılan bu denemeler, ticari kullanımda geniş kitlelere ulaşmayı hedefleyen yayın uygulamaları için önemli veri sağlamıştır. 5G Broadcast'in ticari senaryolarda uygulanabilirliğini doğrulamıştır. Ayrıca, sistem ticari cihazlarla da uyumlu olmasıyla pazara hızlı bir giriş süresi vaat etmektedir (ITU-R BT.2526-0. 2023: 12-17).

Şekil 47

Oriental Pearl Televizyon Kulesi (The Skyscraper Center, n.d.)



Nanjing Saha Testleri

Nanjing'de, 700MHz bandında yüksek ve düşük güçlü baz istasyonları kullanılarak açık alanlar ve mobil performans için çoklu kapsama denemeleri yapılmıştır. Testlerde, açık alanlarda araçların farklı hızlarda hareket ederken video kalitesini koruyup koruyamadığı incelenmiştir. 10 MHz bant genişliğinde sinyal kapsama mesafesi 9-11 km arasında değişmişken 5 MHz bant genişliğinde bu mesafe 12 km'ye kadar çıkmıştır. Bu sonuçlar, bant genişliğinin kapsama alanını belirleyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Ayrıca, baz istasyonları arasındaki geçişlerde video yayını kesintisiz olarak devam etmiş, bu da 5G Broadcast'in mobilite senaryolarında kullanıcı deneyimini iyileştirebileceğini kanıtlamıştır (ITU-R BT.2526-0. 2023: 19-23).

Şekil 48

Nanjing Televizyon Kulesi (ITU-R BT.2526-0, 2023: 20)



4.1.3.3. Almanya

5G Media2Go

Almanya'nın Stuttgart ve Heilbronn şehirlerinde 1 Ekim 2020 ile 30 Eylül 2022 arasında yapılan saha denemeleri, LTE tabanlı 5G yayın sistemlerinin mobil medya tüketim deneyimi üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Bu testler "5G Media2Go" olarak adlandırılmış ve multimedya içeriklerini kullanıcıya sunma odaklı gerçekleştirilmiştir. Projede, hem televizyon hem de radyo hizmetlerinin yüksek hızlarda kaliteli bir biçimde sunulup sunulamayacağı araştırılmıştır.

SWR (Südwestrundfunk) önderliğinde; Mercedes-Benz, Porsche, Kathrein, Rohde & Schwarz, DFMG Deutsche Funkturm, Media Broadcast, Technische Universität Braunschweig - Nachrichtentechnik Enstitüsü ve Telekom Deutschland gibi kurumlar proje kapsamında çalışmıştır (EBU committee,2022: 6-7).

Stuttgart ve Heilbronn'da, 622-630 MHz aralığında 5 MHz / 8 MHz taşıyıcılarla yayınlar yapılmış ve kullanıcı deneyimi detaylı olarak gözlemlenmiştir. İki HPHT ve dört LPLT vericiyle Stuttgart çevresinde bir yayın ağı kurulmuş ve LTE Unicast ile FeMBMS (Sürüm 14-16) teknolojileri kullanılmıştır.

Alınan sonuçlar, sinyalin kalite kaybı olmaksızın şehir içi alanlarda yüksek doğrulukta iletilebildiğini, ayrıca hızlı hareket eden araçlarda bile kesintisiz medya

tüketimini sağladığını göstermektedir. 180 km/h hızla bile sinyal alınabilmiştir. Entegre medya hizmetleri, araç içi eğlence sistemleri ile başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Bunun sonucunda geniş bant veri iletiminin, araç içi medya tüketiminde yeni olanaklar sunabileceği görülmüştür (ITU-R BT.2526-0, 2023: 60-64).

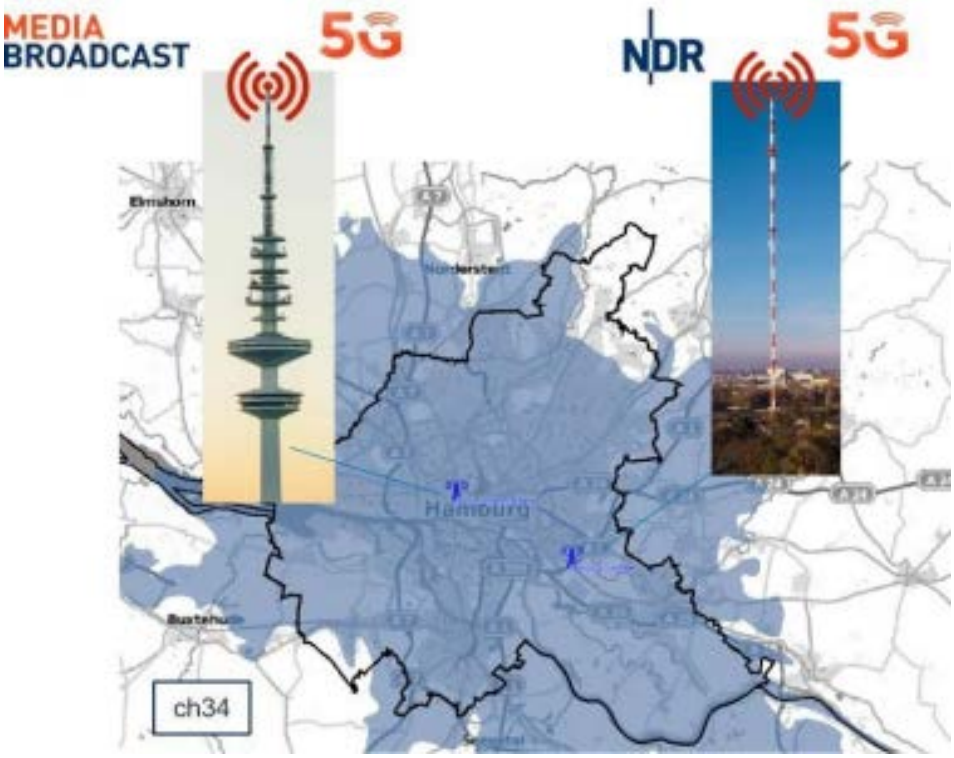
Hamburg Denemesi

Hamburg'da şehir içi LTE tabanlı 5G yayın denemeleri yapılmış ve şehir içi ortamlarda geniş bant hizmetlerinin sunulabilirliği test edilmiştir. Denemeler, özellikle geniş alan kapsama yeteneğini artırmaya odaklanmıştır.

LTE tabanlı 5G yayın sistemlerinin yüksek frekans bant genişliklerinde sunduğu kalite, yoğun kullanıcı taleplerine yanıt verme konusunda önemli bir başarı elde etmiştir. SIM kartsız mobil cihazlarla veri kullanmadan medya yayınlarının sağlanabildiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu denemeler, LTE tabanlı 5G yayının Almanya gibi yüksek nüfuslu bölgelerde, medya dağıtımında stabil olarak güçlü bir çözüm sunabileceğini kanıtlamaktadır (ITU-R BT.2526-0, 2023: 64-66).

Şekil 49

NDR kanalının Hamburg 5G Yayını denemesinin hizmet alanı (EBU Commitee, 2022: 10)



5G Today

5G Today Projesi, mobil teknoloji tabanlı bir yayın modu kullanarak medya içeriğinin dağıtımını geliştirmeyi amaçlayan bir projedir (Institut für Rundfunktechnik, 2019). Bu proje, yüksek güçlü, yüksek kule (HPHT) verici altyapısı ile 5G yayın sinyallerinin kırsal ve kentsel alanlarda kapsama sağlama kapasitesini test etmeye odaklanmıştır. 5G Today Projesi, FeMBMS sistemini kullanan bir yayın ağı kurarak, hem anten tasarımında hem de sinyal yayılım modellerinde yeni bakış açıları sunmuştur (ITU-R BT.2526-0. 2023: 18-19).

Institut für Rundfunktechnik (IRT), Bayerischer Rundfunk (BR), Kathrein, Rohde & Schwarz ve Telefónica Germany gibi kuruluşlar katılımıyla gerçekleştirilmiştir (ITU-R BT.2526-0. 2023: 18-19).

Proje kapsamında FeMBMS yayın sistemi, HPHT vericileri ile Bavyera bölgesinde 700 MHz frekans bandında uygulanmış ve bu frekansın kırsal ve kentsel alanlarda geniş bir kapsama alanı sağlama kapasitesi test edilmiştir (ITU-R BT.2526-0. 2023: 18-19).

Yüksek güçlü vericiler aracılığıyla yayın yapılan bu sistemin test sonuçları, 5G yayın altyapısının Almanya'da daha geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (ITU-R BT.2526-0. 2023: 18-19). Ek olarak, projede anten tasarımı, sinyal yayılımı ve ağ parametreleri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, FeMBMS teknolojisinin uygulanabilirliğini artıran yenilikçi çözümler sağlamıştır.

2024 Avrupa Futbol Şampiyonası

ARD, 2024 Avrupa Futbol Şampiyonası sırasında 5G Broadcast teknolojisini test etmiştir. 5G Broadcast teknolojisi, Hamburg'da televizyon yayınlarını veri tüketimi olmadan mobil cihazlara ileterek kullanıcılara kesintisiz erişim sağlamıştır. Özellikle Almanya-İspanya maçını seyahat sırasında izleyen test kullanıcıları, 5G Broadcast sayesinde stadyuma giderken bile yayını kesintisiz izleyebilmişlerdir (ARD, 2024).

4.1.3.4. Avusturya

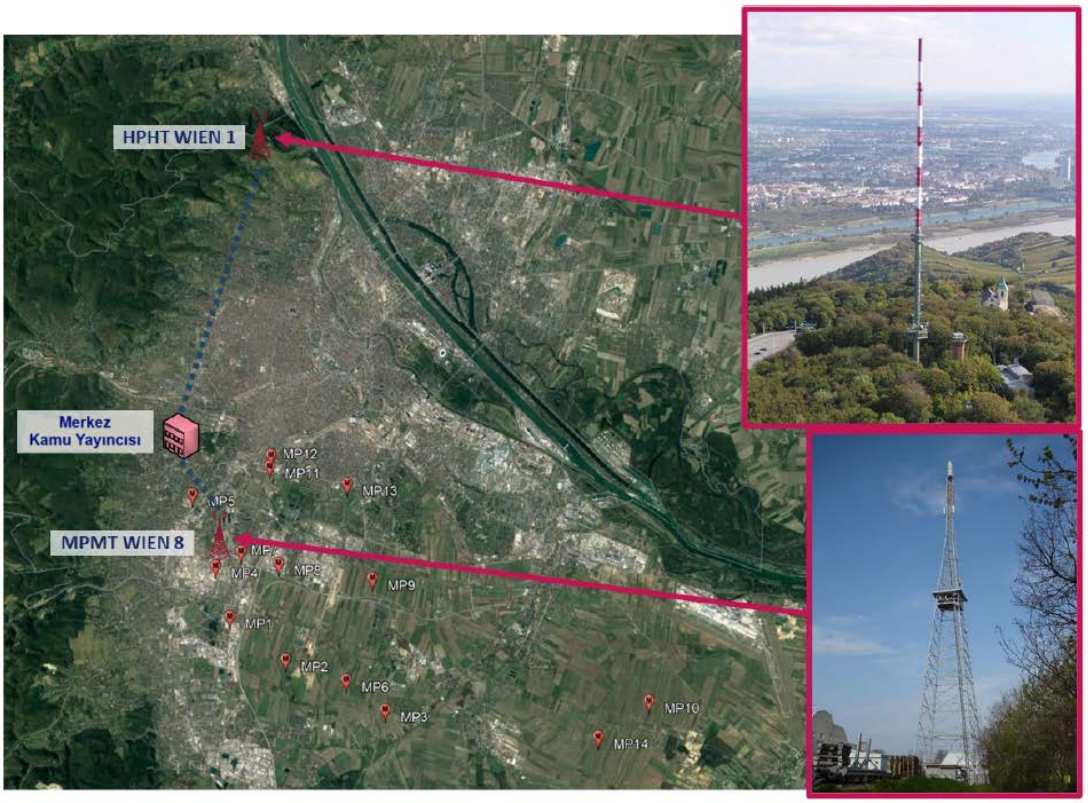
Viyana Denemesi

Avusturya'nın başkenti Viyana'da yapılan ve iki aşamada yürütülen LTE tabanlı 5G karasal yayın testlerini kapsamaktadır. Ayrıca, Avusturya'daki saha denemeleri, FeMBMS ve LTE tabanlı 5G yayın sistemlerinin DVB-T2 ve DAB+ ile karşılaştırılması ve altyapı ile alıcıların olgunluğunun incelenmesi üzerine odaklanmıştır. Bu denemelerle karasal sayısal televizyon, radyo ve hibrit içeriklerin sabit ve mobil sunumundaki verimlilik değerlendirilmiştir. Yayın kalitesini değerlendirmek üzere 5 MHz ve 10 MHz bant genişlikleri denenmiştir (EBU committee,2022: 11-13).

İlk aşama, 2020-2021 yılları arasında gerçekleştirilmiş olup FeMBMS teknolojisinin verimliliği üzerine odaklanmıştır. İkinci aşama ise, daha yüksek kalite gerektiren içerikler için testlerin 2021-2023 yılları arasında devam etmesiyle gerçekleştirilmiştir. Denemeler, "Avusturya Medya Düzenleme Kurumu" tarafından finanse edilmiştir.

Şekil 50

Viyana Test Sahası (ITU-R BT.2526-0, 2023: 68)



İlk Aşama Testleri: İlk aşamada, 734-744 MHz ve 662-672 MHz bant genişliklerinde düşük çözünürlüklü video içerikleri yayınlanmıştır. Bu frekans aralıklarının seçilmesi, düşük bant genişliklerinin şehir içi kapsama sağlamadaki etkinliğini kanıtlamak amacı taşımaktadır. Elde edilen sonuçlar, FeMBMS teknolojisinin mobil medya hizmetleri için geniş bir kapsama sağladığını göstermektedir. Denemeler, hem sabit hem de mobil cihazlarda yapılmıştır. 5G Broadcast'in, mevcut karasal yayın teknolojisi olan DVB-T2 ile benzer performans sergilediği ancak mobil cihazlarda daha geniş kapsama alanı sağladığı vurgulanmıştır (ITU-R BT.2526-0, 2023: 66-69).

İkinci Aşama Testleri: Yüksek çözünürlüklü içeriklerin 638-642 MHz gibi farklı bant genişliklerinde yayınlanmasıyla, video kalitesinin korunduğu ve kapsama alanının geniş bir kullanıcı kitlesine hitap edebildiği gözlemlenmiştir. Yeni kullanımlar, hibrit ve interaktif uygulamalar (örneğin acil durum uyarıları ve mobil cihazlarla dağıtım) araştırılmıştır. Bu aşamada, Viyana'nın kentsel yoğunluğu dikkate alınarak, FeMBMS'nin performansı test edilmiş ve yüksek nüfuslu alanlarda kesintisiz karasal sayısal yayın sunma kabiliyetinin olduğu kanıtlanmıştır. 5G Broadcast'in sabit ve taşınabilir iç mekan yayınları için tamamlayıcı bir teknoloji olduğu belirtilmiştir (ITU-R BT.2526-0, 2023: 64-66).

2023 MotoGP Yarışı

2023 yılı Ağustos ayında Avusturya'da düzenlenen MotoGP etkinliği, 5G yayıncılık teknolojisinin gerçek zamanlı içerik aktarımında sunduğu avantajların sergilendiği önemli bir platform olmuştur. Nakolos ve iş ortakları ORS, ServusTV tarafından gerçekleştirilen bu uygulamada, 5G destekli akıllı cihazlara, birden fazla kamera açısı ve sürücü perspektifleri dahil olmak üzere, düşük gecikmeyle canlı yayın içeriği aktarılmıştır. Etkinlik alanında kullanılan mobil 5G yayın aracı, geniş kapsama alanı sağlayarak yayınların bir saniyeden az gecikmeyle izleyicilere ulaşmasını sağlamıştır (Nakolos, 2023).

Bu uygulama, büyük ölçekli etkinliklerde düşük gecikmeli yayıncılığın mümkün olduğunu göstermiş ve 5G teknolojisinin spor yayıncılığı üzerindeki dönüştürücü potansiyelini gözler önüne sermiştir. Geleneksel yayın sistemleriyle kıyaslandığında çok daha hızlı içerik iletimi sağlayan bu teknoloji, izleyicilerin anlık olarak etkinlikleri takip edebilmesine ve farklı kamera açılarıyla deneyimi zenginleştirmesine olanak tanımaktadır. MotoGP gibi hız ve rekabetin yüksek olduğu spor dallarında, bu yenilikçi yaklaşım izleyicilerin etkinliklerle daha güçlü bir bağ kurmasını sağlamaktadır (Nakolos, 2023).

Sonuç olarak, 5G'nin sunduğu düşük gecikmeli yayıncılık imkanı, özellikle büyük spor etkinliklerinde canlı izleyici deneyimini artırmakta ve gelecekte spor yayıncılığının evriminde kilit bir rol oynamaya aday görünmektedir.

Şekil 51

Nakolos Firması tarafında üretilen 5G Broadcast mobil arayüzü (Nakolos, 2023)



4.1.3.5. İtalya

İtalya'nın çeşitli bölgelerinde gerçekleştirilen LTE tabanlı 5G yayın testleri, kullanıcı deneyimini geliştirmeyi amaçlayan yenilikçi uygulamaları test etmiştir. Testler, özellikle Rai Way tarafından Torino, Palermo ve Monza-Brianza gibi bölgelerde yapılmıştır. Geleneksel yayın ve geniş bant arasında kesintisiz geçiş yapılması hedeflenmiştir.

5G-TOURS

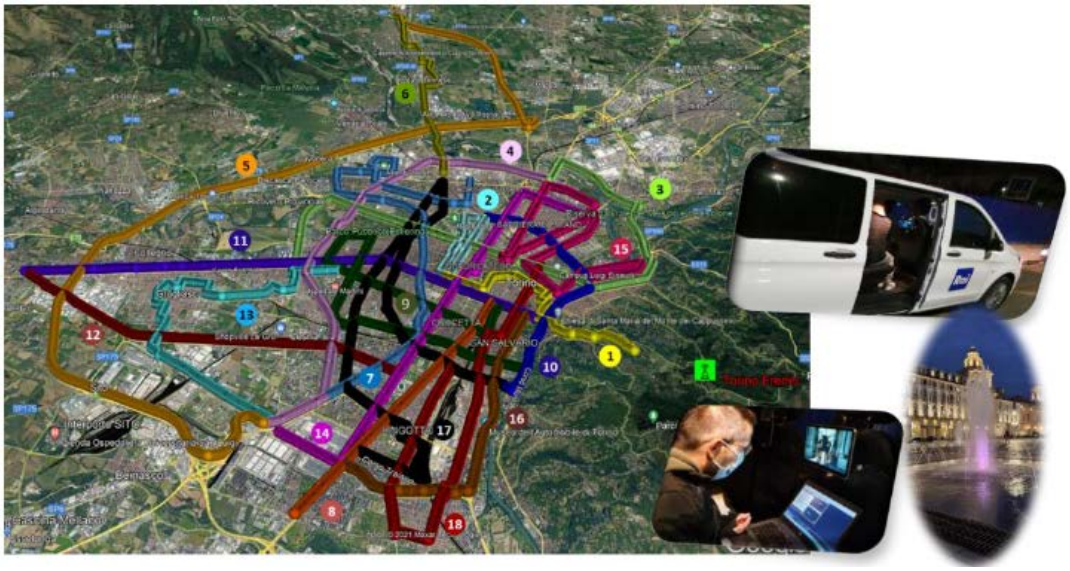
5G-TOURS projesi, turizm, mobilite ve sağlık gibi dikey sektörler için 5G'nin ticari kullanıma geçişini desteklemeyi hedeflemiştir. Proje üç yıl sürecek ve üç ana şehirde denemeler yapılacak şekilde planlanmıştır: Torino (Turizm Şehri), Rennes (Güvenli Şehir) ve Atina (Mobilite Verimli Şehir) (EBU Committe, 2022: 13-14).

Projenin yayıncılık ile ilgili denemeleri Torino şehrinde Eylül 2020'de başlayıp Aralık 2021'de tamamlanmıştır. RAI (Radiotelevisione Italiana) kanalı tarafından yapılan denemenin temel amacı, HPHT (yüksek güçlü, yüksek kule) altyapısı kullanarak geniş kitlelere yönelik "5G Yayını" sağlamaktır. Ayrıca, şehir içi dış mekan kapsama alanı analizleri ve araç içi senaryolarda 5G yayın sinyalinin performansını inceleyerek video kullanıcı deneyimini iyileştirmek hedeflenmiştir. Bu deneme, sınırsız sayıda kullanıcıya sesli-görsel içerik ve hizmetlerin dağıtılmasını da amaçlanmıştır (EBU Committe, 2022: 13-14).

5G Broadcast (sürüm 14 -16) testi, VHF 11. kanaldan (216 - 223 MHz, merkez frekans 219.5 MHz) Rohde & Schwarz tarafından sağlanan donanım sistemi ile yapılmıştır (EBU Committe, 2022: 13-14).

Şekil 52

5G-TOURS projesi kapsamında Torino'da araç içi 5G Broadcast test rotası (EBU Committe, 2022: 14)



Aosta Vadisi 5G Yayın Denemesi

Aosta Vadisi'nde, SFN modunda düşük güç kullanarak geniş alan kapsama başarısı gözlemlenmiştir. 726-734 MHz bant genişliğinde yapılan yayınlarda, veri akışı kesintisiz olarak sağlanmış ve video kalitesinde düşüş yaşanmamıştır. Bu, özellikle kırsal alanlarda düşük güçle yüksek kapsama sağlamanın mümkün olduğunu göstermektedir. Rai CRITS tarafından iki verici kullanılarak yapılan testlerde, zorlu arazi şartlarına rağmen geniş kapsama alanı sağlanmıştır. Saha testleri, sinyal performansı ve sinyalin yüksek hızlardaki verimliliği açısından kapsamlı bir değerlendirme sunmuştur. Aosta Vadisi'nin topografik

yapısı, SFN testleri için ideal bir ortam sunmuştur. %92,2 kapsama oranı ile sinyal alımı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Deneme öncesi yapılan kapsama alanı simülasyon çalışması ile saha ölçümlerinin %95'in üzerinde bir uyum yakaladığı ve bununla birlikte mobil alımın güvenilir olduğu görülmüştür (ITU-R BT.2526-0, 2023:69 - 74).

Şekil 53

Aosta Vadisi'nde simülasyon ve saha ölçümü karşılaştırılması (ITU-R BT.2526-0, 2023: 74)



Monza-Brianza'daki EI-Towers Denemesi

Monza-Brianza'daki testlerde, geniş alan kapsama ve düşük güç ile yüksek kalite sağlanabilirliği analiz edilmiştir. Kullanılan altyapı sayesinde, yüksek çözünürlüklü içeriklerin geniş bir kullanıcı kitlesine sunulabildiği gözlemlenmiştir. Bu testler, İtalya'nın geniş alanlara sahip bölgelerinde LTE tabanlı 5G'nin uygulanabilirliğini ve verimliliğini kanıtlamaktadır.

4.1.3.6. Fransa

Roland Garros tenis turnuvası

2022 Roland-Garros turnuvası sırasında, Fransız altyapı operatörü TDF, kamu yayıncısı France Télévisions ile birlikte iki yayın deneyi gerçekleştirmiştir. Bu deneyler, turnuvayı Paris, Toulouse ve Nantes'ta sayısal karasal televizyon yayını üzerinden UHD olarak yayınlamayı ve Paris'teki Eyfel Kulesi'nden Roland Garros'taki akıllı telefonlara 5G Yayın sinyalleri göndermeyi içermektedir (Ateme, 2022).

TDF, Eyfel Kulesi'nden yayın yapmak için Fransa'nın yayın düzenleyicisi Arcom'dan izin almış ve projede Ateme, Qualcomm ve Rohde & Schwarz ile işbirliği yapmıştır (Ateme. 2022).

5G sayesinde hem geleneksel yayın hem de çok noktaya yayın modlarında yeni dağıtım yöntemlerini test etmiştir. Bu farklı dağıtım modları, France Télévisions kanallarının aynı yerde bağlı olan izleyici sayısından bağımsız olarak tüm alıcılarda optimal alım kalitesiyle alınmasını sağlamıştır. Bu yaklaşım, giderek artan bir izleyici kitlesi çeken spor etkinliklerinin yayınlanması için özellikle uygundur. Bu denemeler sonunda 5G yayıncılığın geleceğin teknolojisi olduğu görülmüştür (Ateme, 2022).

TDF, sayısal karasal televizyon yayını Fransa'nın her yerinde izleyici için ücretsiz, daha ekolojik ve herkes için kolay erişilebilir bir televizyon yayıncılığı modu olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, mobil sayısal karasal televizyon yayını testleri sayesinde izleyicilerin akıllı telefonlarında, hareket halindeyken, ücretsiz, Wi-Fi olmadan ve mobil verlerini kullanmadan televizyon izleyebileceklerini açıklamıştır (Priestley, 2023).

2023 Roland Garros tenis turnuvası sırasında, mobil ağ operatörü TDF, France Television ile işbirliği içinde, turnuva alanını ve çevresini kapsayacak şekilde Eyfel Kulesi'nden özel bir iletim kullanarak bir 5GBC denemesi kurrmuştur.

Şekil 54

Roland Garros Tenis Turnuvası 5G Yayını Denemesi (Ateme, 2022)



2024 Paris Olimpiyatları

2024 Paris Olimpiyat Oyunları sırasında, TDF, France Télévisions, Rohde&Schwarz, Ateme, Xiaomi, Samsung ve Qualcomm gibi ortaklarla işbirliği yapılarak 5G Yayın teknolojisi geniş çapta denenmiştir. Bu teknoloji, Paris, Nantes ve Bordeaux'da Olimpiyat Oyunları süresince doğrusal canlı televizyon ve radyo hizmetleri sunmuştur (Valerie, 2024).

2024 Paris Olimpiyatları sırasında mobil operatör Orange tarafından sağlanan Fransanın ilk bağımsız 5G ağı, açılış töreni ve diğer etkinliklerin benzersiz yollarla yakalanması ve yayınlanmasında kritik bir rol oynamıştır. 26 Temmuz'da, Seine Nehri 6 km boyunca, çeşitli ülkelerden gelen sporcuları taşıyan teknelerin büyük bir geçit törenine ev sahipliği yapılmıştır. Seyirciler nehir kıyısında sıralanırken, teknelerdeki kameralar canlı görüntüler sağlayarak izleyicilere sporcularla birlikteymiş gibi hissettirmişlerdir (Valerie, 2024).

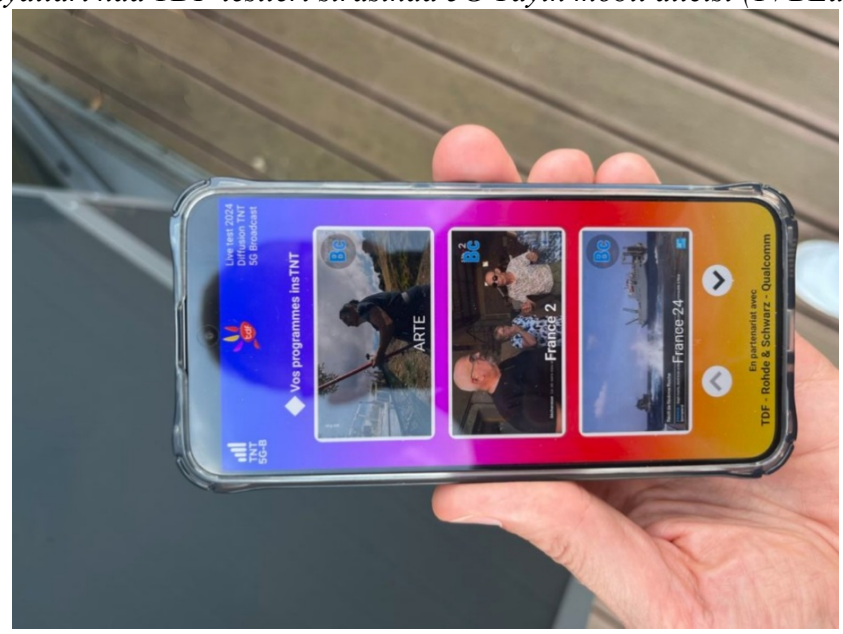
TDF'nin bu girişimi, Eyfel Kulesi gibi ikonik bir yerden yayın yapmanın yanı sıra, 2030 yılına kadar 27 milyon izleyiciye ulaşmayı hedefleyen uzun vadeli bir stratejinin başlangıcını temsil etmektedir. Bu strateji, teknik uygulama, ağ planlaması, pazarlama, iletişim, kıyaslama ve standartlara ve düzenlemelere uyum gibi alanlarda önemli bir altyapı çalışmasını içermektedir. TDF, UHD multiplekslerini 2028 yılına kadar 5G Yayın'a taşımayı ve ulusal ücretli TV multiplekslerini 2030 yılına kadar dönüştürmeyi planlamaktadır. Olimpiyat Oyunları kapsamı, bu planın ilk önemli kilometre taşıdır (Valerie, 2024).

Etkinlik sırasında TDF, France TV, Arte ve France Media Mode'dan televizyon hizmetleri ve France Info ve France Bleu'dan radyo hizmetleri sunarak 5G Yayın üzerinden doğrusal hizmetler sağlamıştır. Televizyon hizmetleri, mevcut bant genişliğine bağlı olarak 720P veya 1080P olarak yayınlanmıştır (TVU Networks, 2024).

Bu projenin önemli bir yönü, Samsung ve Xiaomi ile yapılan işbirliğidir. Xiaomi Mi13 ve Samsung S24 el cihazları Qualcomm arayüzü kullanarak 5G Yayın'ı destekleyecek şekilde yapılandırılmıştır. TDF, bu el cihazlarını 250 seçilmiş kullanıcıya, influencer'lara ve sektör paydaşlarına dağıtarak TNT uygulaması "InsTNT" aracılığıyla 5G yayın hizmetlerine erişim sağlamıştır. Bu uygulama ayrıca kullanıcıların gerçek zamanlı geri bildirim sağlamasına olanak tanıyarak TDF'nin bu yeni hizmetlere olan talebi değerlendirmesine yardımcı olmuştur (TVU Networks, 2024).

Şekil 55

Paris Olimpiyatları'nda TDF testleri sırasında 5G Yayın mobil alıcısı (TVBEurope. 2024)



4.1.3.7. Birleşik Krallık

5G RuralFirst

5G RuralFirst projesi, kırsal topluluklar ve tarım, yayıncılık ve kamu hizmetleri gibi sektörlerde 5G teknolojisinin potansiyel faydalarını araştırmak üzere yürütülmüştür.

Proje, Orkney Adaları, Shropshire ve Somerset'teki tarım alanları üzerinde gerçekleştirilmiştir. İş birliği yapılan önemli kuruluşlar arasında BBC, Afimilk, Agri-EPI Merkezi, Broadway Partners, BT, Censis, CloudNet, Datavita, Fairspectrum, Faroese Telecom, Harper Adams Üniversitesi, Heriot-Watt Üniversitesi, Microsoft, Nominet ve Parallel Wireless gibi çok sayıda sektör öncüsü yer almıştır (BBC, 2019). Bu geniş katılımcı ağı, projede multidisipliner bir yaklaşımı mümkün kılarak, kırsal kesimde 5G tabanlı çözümlerin etkinliğini ve sürdürülebilirliğini inceleme olanağı sunmuştur (EBU Committe, 2022: 16-18).

Projede kullanılan teknolojiler arasında eMBMS (sürüm 12) ve LTE unicast gibi daha önce geliştirilmiş teknolojilerle birlikte LTE tabanlı 5G Karasal Yayın (FeMBMS) özellikleri bulunmaktadır. Yayın altyapısı olarak, yazılım tanımlı radyo (SDR) tabanlı baz istasyonları ve eMBMS uyumlu akıllı telefonlar kullanılmıştır. Projede ayrıca özel olarak tasarlanmış, FPGA

tabanlı bir 5G Yayın modemi kullanılmış ve bu modem ile en yeni mobil yayın özelliklerinin ticari cihazlarda sağlanması hedeflenmiştir (EBU Committe, 2022: 16-18).

Projede, 700 MHz frekans bandı kullanılmıştır. Bu bant, geniş kırsal alanlara radyo hizmeti sunmak için ideal bir kapsama alanı sağlamıştır (BBC, 2019).

Projenin temel hedeflerinden biri, kırsal alanlarda 5G tabanlı radyo yayınlarının halka doğrudan sunulabilirliğini test etmek olmuştur (BBC, 2019). Deneme sürecinde eMBMS sisteminin performansı incelenmiştir. Bu testlerde 5G yayın sisteminin, kırsal alanlarda yüksek kalitede radyo ve sesli-görsel içerik sunmada güvenilir olduğu gözlemlenmiştir (EBU Committe, 2022: 16-18).

4.1.3.8. Finlandiya

WIVE Projesi

WIVE Projesi, 5G teknolojisinin otomasyon, akıllı şebekeler, büyük ölçekli makine bağlantısı ve medya dağıtımı gibi sektörlerde rekabet gücünü artırmayı amaçlayan kapsamlı bir projedir (International Finance, 2017). Projenin odak noktalarından biri, mobil ağ üzerinden TV ve radyo içeriklerinin ulusal çapta kapsama sağlayacak bir ağ altyapısıyla iletilmesini sağlamaktır. 5G ağlarının sunduğu düşük gecikme ve yüksek veri hızlarından faydalanarak medya ve eğlence sektörü için yayın çözümlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yürütmüştür (EBU Committe, 2022: 20-21).

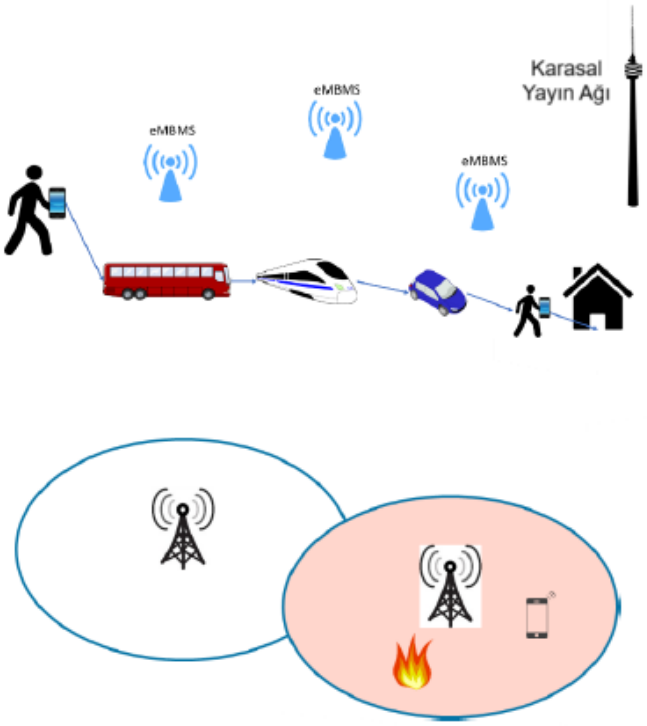
WIVE Projesi, Yle (kamu yayıncısı), Aalto Üniversitesi, Digita, Nokia Bell Labs, Tampere Teknoloji Üniversitesi, Teleste, Turku Uygulamalı Bilimler Üniversitesi ve VTT gibi ortaklarla iş birliği içinde yürütülmüştür.

Projede eMBMS ve SFN kullanılarak 700 MHz frekans bandı aracılığıyla televizyon ve radyo yayınlarının yüksek kalite ve düşük gecikme ile mobil cihazlara aktarılmasını sağlanmıştır (International Finance, 2017).

WIVE Projesi, kamu uyarı mesajları gibi acil durum yayınlarının kullanıcıya ulaşmasını sağlayacak yeteneklerin geliştirilmesi üzerinde de çalışmıştır. Bu bağlamda, kullanıcıların SIM kart gereksinimi olmaksızın acil durum mesajlarını alabileceği bir sistem geliştirilmiş ve yayın mesajlarının belirli hücre sitelerine göre ayarlanabilmesi sağlanmıştır (International Finance, 2017). Ayrıca, medya tüketicilerinin bireysel gereksinimlerine göre uyarlanmış içerik sunan bir medya hizmeti tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Şekil 56

WIVE Projesi 5G Broadcast ve kamu uyarı sistemi gösterimi (EBU Committe, 2022: 20)



5GTN+

5GTN+ Projesi, 5G teknolojisini kullanarak televizyon/ radyo yayını üretimi ve dağıtımı sağlamak ve eMBMS üzerinden son kullanıcı terminallerine yayın iletimi testlerini gerçekleştirmek amacıyla Nokia, Bittium Tough Mobile, Expway ve VTT gibi firmaların desteği ile yürütülmüştür (VTT Technical Research Centre, 2019). Proje, Finlandiya'daki "5G Test Ağı Finlandiya" projelerini bir araya getiren bir yapı oluşturmayı ve 5G altyapısının medya dağıtımı için sağladığı olanakları araştırmayı hedeflemiştir (EBU Committe, 2022: 21).

Proje kapsamında eMBMS teknolojisi kullanılarak Oulu'dan Espoo'ya 5G bağlantısı üzerinden TV ve radyo içeriklerinin dağıtımı sağlanmıştır. Bu süreçte, H.264 formatında 4K çözünürlüklü yayınlar yaklaşık 100-130 Mbit/s veri hızında iletilmiş ve MPEG-TS protokolü kullanılmıştır (VTT Technical Research Centre, 2019). Altyapı olarak kullanılan düşük gecikmeli 5G ağı, yüksek çözünürlüklü içeriklerin mobil cihazlarda kesintisiz bir şekilde yayınlanmasına olanak tanımıştır (EBU Committe, 2022: 21).

UHF yerine 5G ağları için tahsis edilen frekans bantları kullanılmış olup, bu bantların medya içeriklerinin düşük gecikme ile dağıtımını optimize etmek için uygun olduğu

gözlemlenmiştir. Yüksek hızlı bağlantılar sayesinde, medya içerikleri gecikme ve kalite kaybı olmadan mobil cihazlara iletilmiştir (VTT Technical Research Centre, 2019).

4.1.3.9. Danimarka

Danimarka'nın Kopenhag şehrinde, LTE tabanlı 5G karasal yayın sistemleri saha testleri yapılmış ve 617-622 MHz bant genişliğinde yayın sağlanmıştır. LTE tabanlı 5G yayın teknolojisi mevcut DVB-T2 altyapısı ile birlikte kullanılarak mobil cihazlara iç mekan kapsama sağlanabilirliği ve sinyal kalitesi değerlendirimiştir. Deneme, 8 kW ERP gücünde bir LTE tabanlı 5G yayın vericisi ile gerçekleştirilmiştir. Bu testler sırasında, çok sayıda kullanıcının aynı anda medya içeriklerine erişimi sağlanmıştır (Broadcast Networks Europe, 2023).

Testler, derin iç mekan kapsama sağlayarak yüksek kaliteli HD video akışı gerçekleştirilmiştir. 5G karasal yayın sistemlerinin geniş alan kapsama sağlayabildiğini ve yüksek kullanıcı sayısı altında dahi performans kaybı yaşanmadığını göstermektedir. Bu testlerin sonuçları, LTE tabanlı 5G'nin geniş kitlelere yönelik medya dağıtımı açısından verimli bir seçenek olduğunu kanıtlamaktadır (Broadcast Networks Europe, 2023).

4.1.3.10. İspanya

Mobil Dünya Kongresi (MWC) sırasında Barselona'da yapılan LTE tabanlı 5G yayın testleri, geniş ölçekli etkinliklerde LTE tabanlı 5G yayın teknolojisinin yüksek kalitede yayın sunabilme yeteneğini ölçmektedir. Düşük enerji tüketimiyle veri kullanmadan içerik aktarımını hedeflemiştir. 2020, 2022 ve 2023 yıllarında gerçekleştirilen testlerde, 750-755 MHz ve 617-627 MHz gibi farklı spektrumlar kullanılmıştır. RTVE, Cellnex Telecom, Rohde & Schwarz ve Qualcomm işbirliğiyle gerçekleştirilen bu denemeler, 16-QAM modülasyonuyla yapılmış ve 4.5 Mbit/s kapasite sağlanmıştır (Broadcast Networks Europe, 2023).

LTE tabanlı 5G yayın, MWC etkinliğinde mobil izleyicilere canlı içerik sağlamıştır. Ayrıca, testlerde, sanal gerçeklik (VR) ve panoramik video gibi yüksek bant genişliği gerektiren içerikler başarılı bir şekilde sunulmuştur. Geniş kapsama alanı ve çoklu kullanıcı desteği sağlayan bu yayınlar, geniş katılımlı etkinliklerde LTE tabanlı 5G yayın sistemlerinin başarılı olabileceğini göstermiştir. Yüksek kaliteli medya hizmetlerinin mobil cihazlara aktarılabilirliğini gözlenmiştir. Geniş bant erişimi olmadan veri tasarrufu

yapılabilmiştir. İspanya'daki yayın sistemlerinin gelecekteki potansiyel kullanımlarını değerlendirme fırsatı olmuştur (Broadcast Networks Europe, 2023).

4.1.3.11. Hırvatistan & Slovenya

Hırvatistan OIV ve Slovenya RTV ortak bir 5G Yayın projesi başlatmıştır. Biri Hırvatistan'da diğeri Slovenya'da olmak üzere, SFN kullanılarak 700 MHz altı UHF frekans bandında yayın ileten iki verici Ekim 2022'den beri yayındadır. OIV ve RTV Slovenya işbirliği içinde, kentsel ve kırsal alanlarda mobil ve taşınabilir cihazlarda sinyal alımını test etmektedir (Croatia outlines, n.d.).

4.1.3.12. Çek Cumhuriyeti

Mobil ağ operatörü CRA bir dizi deneme başlatmıştır. Deneme 1, Nisan-Aralık 2022 tarihleri arasında Prag'da tek bir TV kulesinden gerçekleştirilmiştir. Deneme 2'de, Mayıs 2023'ten bu yana, Prag bölgesinde 2 verici üzerinde tek bir frekans ağı işletilmektedir (Broadcast Networks Europe, 2023).

4.1.3.13. 5G-Xcast

5G-Xcast, 5G'nin medya ve eğlence sektörü gibi çok noktaya yayın (point-to-multipoint, PTM) iletişim gereksinimlerini karşılayacak yenilikçi çözümler geliştirmeyi amaçlayan 5G-PPP Faz 2 projesidir. Bu proje, büyük ölçekli medya dağıtımı için çoklu yayın (multicast) ve yayın (broadcast) işlevlerinin 5G sistemlerinde bütünsel bir şekilde uygulanmasını hedeflemiştir (5G-Xcast, 2018).

BBC, Avrupa Yayın Birliği (EBU) ve Institut für Rundfunktechnik (IRT) gibi medya sektöründen önde gelen kuruluşlar, ayrıca Broadpeak, Expway, Nokia ve Samsung gibi teknoloji şirketleri iş birliği yapmıştır. Projede ayrıca, 5G'ye uyumlu yenilikçi medya dağıtım senaryolarının test edilmesi için Almanya'da IRT (Münih), Birleşik Krallık'ta Surrey Üniversitesi (5GIC) ve Finlandiya'da Turku Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde olmak üzere üç test alanı kullanılmıştır.

5G-Xcast Projesi, mevcut eMBMS teknolojisinin 5G ağlarında medya dağıtımı için nasıl kullanılabileceğini araştırmıştır. Bu bağlamda, sabit, mobil ve karasal yayın ağlarının bir arada çalışmasını sağlayan çoklu yayın ve yayın işlevleri geliştirilmiştir. Kullanılan

altyapı, 5G ağlarının geniş çapta medya kullanıcılarına sorunsuz bir medya deneyimi sunması için gerekli olan çoklu yayın ve yayın modlarının verimli bir şekilde çalışmasını sağlamıştır (5G-Xcast, 2018).

5G-Xcast, özellikle karma yayın hizmetleri ve nesne tabanlı yayıncılık gibi yenilikçi kullanım senaryolarını test etmiştir. Karma yayın hizmeti ile birlikte geleneksel yayın ve isteğe bağlı içeriklerin aynı ağ üzerinde birleştirilmesi sağlanmıştır. Nesne tabanlı yayıncılıkta ise medya içeriklerinin farklı bileşenler (örneğin ses, video, altyazı) olarak saklanarak kullanıcıya özgü bir deneyim sunulmuştur (5G-Xcast, 2018). Bu projede Avrupa Şampiyonası gibi etkinlikler sırasında yapılan gösterimler, eMBMS kullanılarak akıllı telefon ve televizyonlara eş zamanlı medya içerikleri sunulabileceğini göstermiştir.

Tablo 6'da 5G Yayını kapsamında yapılan saha denemeleri özelliklerine göre değerlendirilmiştir.

Tablo 6

Çeşitli ülkelerde 5G Yayını deneme ve dağıtım durumları (ITU-R BT.2526-0. 2023: 10-11)

Ülke	Şehirler	Deneme adı	İletim Sistemi	Kullanılan frekans aralığı	Tarih
Çin	Pekin, Şangay	Pekin ve Şanghay'da 5G NR MBS Denemesi	5G NR Çok Noktaya Yayın/ Geleneksel Yayın sistemi (MBS)	758-768 MHz	Ekim 2020/ Kasım 2021
	Nanjing	Nanjing'de 5G NR MBS Denemesi	5G NR Çok Noktaya Yayın/ Geleneksel Yayın sistemi (MBS)	700 MHz bandı	Ekim 2021
İtalya İsviçre Fransa Almanya Avusturya	Torino Cenevre Paris Stuttgart Viyana	5G Yayını Eurovision Şarkı Yarışması	LTE-Tabanlı 5G Karasal Yayını	600 MHz	Nisan/Mayıs 2022
Almanya	Stuttgart, Heilbronn	5G Media2Go	FeMBMS (Sürüm 14) LTE-Tabanlı 5G Karasal Yayını LTE Unicast	622-630 MHz	Eylül 2020/ Ekim 2022
	Hamburg	Hamburg'da 5G Yayını	LTE-Tabanlı 5G Karasal Yayını	574-582 MHz	Ekim 2021/ Aralık 2023
Avusturya	Viyana	Viyana Saha Denemeleri	FeMBMS (Sürüm 14) LTE-Tabanlı 5G Karasal Yayını	734-744 MHz 662-672 MHz 638-642 MHz	2020/2021 Faz 1 2021/2023 Faz 2
Italy	Aosta Vadisi	Aosta Vadisi'nde LTE-Tabanlı 5G Karasal Yayını	LTE-Tabanlı 5G Karasal Yayını	726-734 MHz	Kasım 2021/ Haziran 2022
Danimarka	Kopenhag	Danimarka'da LTE-Tabanlı 5G Karasal Yayını Denemeleri	LTE-Tabanlı 5G Karasal Yayını	617-622 MHz	Haziran/ Temmuz 2022
İspanya	Barselona	5GB Denemesi MWC 2020, 2022 ve 2023 boyunca	FeMBMS (Sürüm 14) FeMBMS (Sürüm 16), eMBMS (Sürüm 12)	750-755 MHz 617-627 MHz 617- 622 MHz	Şubat 2020 Şubat 2022 Şubat 2023
İtalya	Torino ve Palermo	Rai Way Torino ve Palermo'da 700 Mhz bandında 5G Yayın Ağı ve Hizmetleri Denemesi	FeMBMS (Sürüm 16) ve kesintsiz anahtarlama genişbant/geleneksel yayın	743-748MHz (SDL-B2)	Temmuz 2022/ Temmuz 2023
İtalya	Lissone (Monza-Brianza)	Lissone' de EI-Towers 5GB saha denemesi	FeMBMS (Sürüm 16)	738-743 MHz (SDL-B1)	Mart 2023
ABD	Boston	LTE-Tabanlı 5G Karasal Yayını üzerinden lisanslı ATSC 3.0 TV yayını	FeMBMS (Sürüm 16)	UHF TV bandı	Devam ediyor
Çin	Chengdu	5G Yayını pilot projesi	FeMBMS (Sürüm 16)	630-638 MHz	Devam ediyor
Brezilya	Rio	5G Yayın akışı gösterimi	FeMBMS (Sürüm 16)	UHF TV bandı	Şubat 2023
İsviçre	Cenevre	5G Broadcast tabanlı hibrit içerik dağıtımı	FeMBMS (Sürüm 16)	UHF TV bandı	Nisan 2023

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, geleneksel yayıncılıkta sayısallaşmanın getirdiği yenilikleri ve bu sürecin aşamaları olan sayısal yayıncılık, hücresel haberleşme ve 5G Broadcast teknolojilerini kapsamlı bir bakış açısıyla değerlendirmiştir.

Sonuçlar

Analog yayıncılığın sınırlamalarını aşan sayısal teknolojiler, televizyon ve radyo yayını içeriğinin geniş kitlelere daha verimli, hızlı ve kaliteli bir şekilde sunulmasını sağlamıştır. Hücresel haberleşme sistemlerinin gelişimiyle birlikte medya tüketimi ve erişim olanakları değişmiş, 5G Broadcast ile yeni bir döneme girilmiştir. Çalışmanın bulguları, sayısal yayıncılık ve hücresel haberleşmenin birleşimiyle ortaya çıkan 5G Broadcast teknolojisinin medya endüstrisinde nasıl bir dönüşüm yaratabileceğini göstermektedir.

Sayısal yayıncılık, analog yayıncılığın sınırlamalarını ortadan kaldırarak medya içeriklerinin daha yüksek kalitede ve verimli bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır. Analog yayıncılıkta sinyal kalitesi, taşıma kapasitesi ve verimlilik gibi sorunlar yaygın iken, sayısal yayıncılık teknolojisiyle birlikte görüntü ve ses kalitesi artırılmış, verimlilik daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. Sayısal yayıncılığın sağladığı en büyük avantajlardan biri, daha az bant genişliği kullanılarak daha fazla kanal kapasitesine ulaşılabilmesidir. Bu durum, izleyicilere daha geniş bir içerik yelpazesi sunulmasını sağlarken, yayıncılar için de altyapı maliyetlerini düşürmektedir.

Sayısal yayıncılık, MPEG-2, H.264/AVC ve H.265/HEVC gibi gelişmiş sıkıştırma standartları sayesinde yüksek çözünürlüklü (HD) içeriklerin verimli bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır. Bu standartlar, medya sektöründe sadece televizyon yayıncılığında değil, çevrimiçi platformlarda ve mobil cihazlarda da geniş kullanım alanı bulmuştur. Kodlama standartları ile yüksek çözünürlüklü yayınlar için gerekli olan bant genişliği azalırken, kalite kaybı minimum seviyede tutulabilmektedir. Bu durum, tek frekans ağı ile birlikte özellikle geniş coğrafi alanlarda yayın yapılabilmesi açısından büyük avantaj sağlamaktadır.

Hücresel haberleşme sistemleri, iletişim teknolojilerinin gelişim sürecinde kritik bir rol oynamış ve medya tüketim alışkanlıklarını köklü bir şekilde değiştirmiştir. 2G, 3G ve 4G

gibi nesiller boyunca gelişim gösteren hücresel sistemler, öncelikle sesli iletişimi, ardından veri iletimini ve nihayetinde yüksek hızlı internet erişimini mümkün kılmıştır. 4G teknolojisinin sağladığı yüksek hız ve bant genişliği sayesinde, mobil cihazlar üzerinden yüksek kaliteli medya içeriklerine erişim yaygın hale gelmiştir. Bu teknolojiler, sayısal yayıncılık sistemleri ile yakınsayarak geleneksel televizyon ve radyo yayınlarının mobil cihazlar üzerinden de erişilebilir olmasını sağlamıştır.

Hücresel haberleşme sistemleri, yayıncılık alanında önemli bir rol üstlenmiştir; özellikle LTE Broadcast teknolojisi, medya içeriğinin tek noktadan çok noktaya (point-to-multipoint) iletimine olanak tanımıştır. LTE Broadcast (eMBMS), aynı anda birçok kullanıcıya içerik sunarak medya dağıtımında verimlilik sağlamakta ve mobil ağların üzerindeki veri yükünü hafifletmektedir. Bu özellik, geniş kitlelerin aynı anda medya içeriklerine erişimini kolaylaştırmış ve özellikle büyük etkinlikler sırasında veri akışında meydana gelen yoğunluğun yönetilmesinde etkili olmuştur. Ancak LTE Broadcast teknolojisi, sınırlı kapsama alanı ve yüksek hızlarda sınırlı veri iletim kapasitesi gibi bazı eksikliklere sahiptir. Bu sınırlamaların aşılması için geliştirilen 5G teknolojisi, medya yayıncılığına yeni bir soluk getirmiştir.

5G Broadcast, hücresel haberleşme sistemlerinin sunduğu avantajları genişleten ve medya endüstrisi için yeni fırsatlar yaratan bir teknolojidir. 5G yayıncılık teknolojisi, televizyon ve radyo gibi geleneksel yayınlar ile mobil ağları entegre ederek, geniş alanlarda medya yayını yapılmasını sağlamaktadır. 5G'nin düşük gecikme süresi, yüksek veri iletim kapasitesi ve geniş kapsama alanı özellikleri, büyük ölçekli etkinliklerde kesintisiz ve yüksek kaliteli yayın yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu teknoloji, medya sektörünün ötesine geçerek kamu güvenliği, eğitim ve acil durum yönetimi gibi alanlarda da kullanılabilir hale gelmiştir. Bu özellikler, mobil cihaz kullanıcılarının SIM karta veya veri paketine ihtiyaç duymadan serbest alış şeklinde yayınları ücretsiz izlemesine olanak tanımaktadır. 5G yayıncılık, televizyon yayıncılığı ile mobil iletişimi birleştirerek dijital medya tüketimini yeniden şekillendirmekte ve özellikle genç nesil için yeni medya erişim kanalları oluşturmaktadır.

Dünyanın farklı bölgelerinde yapılan 5G Broadcast saha denemeleri, bu teknolojinin medya dağıtımında köklü değişikler yapacak potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Çeşitli ülkelerde gerçekleştirilen saha denemelerinin sonuçları 5G Broadcast teknolojisinin hem kentsel alanlarda hem de kırsal alanlarda geniş kapsama alanına sahip düşük maliyetli medya yayını yapma potansiyelini ortaya koymuştur. Bu denemelerde, geniş kapsama alanı sayesinde geleneksel altyapıya ihtiyaç duymadan uzak mesafelerde bile kaliteli medya

içeriği sunulabilmiş; ayrıca, mobil cihazlarda bile kesintisiz yayın akışı sağlanmıştır. Örneğin, Avrupa'da Eurovision Şarkı Yarışması sırasında yapılan denemelerde, kullanıcıların SIM karta ihtiyaç duymadan ve veri tüketimi olmaksızın yayınlara canlı erişebilmesini sağlamıştır. Bu örnek, 5G Broadcast teknolojisinin kullanıcı dostu bir yapı sunduğunu ve ekonomik bir medya erişim modeli oluşturduğunu kanıtlamaktadır.

5G Broadcast'in sağladığı avantajlar yalnızca medya tüketimiyle sınırlı kalmayıp kamu güvenliği ve afet yönetimi gibi kritik alanlara da yayılmaktadır. 5G'nin geniş kapsama alanı ve düşük gecikme süresi sayesinde acil durumlarda hızlı bilgi aktarımı ve kitlesel bilgilendirme yapılabilmektedir. Bu bağlamda, 5G Broadcast teknolojisi, sadece eğlence amaçlı yayıncılık için değil, aynı zamanda toplumsal yarar sağlama açısından da büyük bir potansiyele sahiptir.

5G Broadcast, medya endüstrisinin gelecekteki gelişimi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Özellikle mobil cihazlar üzerinden yüksek çözünürlüklü içeriklerin geniş kitlelere düşük maliyetle ulaştırılabilmesi, medya tüketim alışkanlıklarını dönüştürebilecek bir yenilik olarak değerlendirilmektedir. Bu teknoloji, spor etkinlikleri ve konser gibi büyük ölçekli etkinliklerde kullanıcıların çeşitli kamera açıları ile içeriği izleyebilmesini ve etkileşimde bulunabilmesini sağlamaktadır. Ayrıca 5G Broadcast, sanal ve artırılmış gerçeklik tabanlı içeriklerin yayınlanması için uygun bir altyapı sunarak, medya endüstrisinde etkileşimli deneyimlerin yaygınlaşmasını desteklemektedir.

Eğitim ve sağlık gibi alanlarda da 5G Broadcast'in faydaları öne çıkmaktadır. Özellikle eğitim alanında sanal sınıflar oluşturulması, uzak bölgelerdeki öğrencilere kaliteli eğitim içeriklerinin ulaştırılması için bu teknoloji önemli bir çözüm sunmaktadır. Sağlık alanında ise uzaktan hasta takibi ve acil durumlarda hızlı bilgi aktarımı gibi uygulamalar, 5G Broadcast ile daha güvenilir hale gelmektedir. Bu özellikler, 5G Broadcast'in medya endüstrisinin ötesinde birçok sektörde etkili olacağını göstermektedir.

Bu çalışmanın bulguları, sayısal yayıncılığın medya endüstrisindeki etkisini ve hücresel haberleşme ile 5G Broadcast teknolojisinin sağladığı yenilikleri açıkça ortaya koymaktadır. 5G Broadcast, medya yayıncılığında yeni bir çağ başlatarak geniş kitlelere düşük maliyetli, yüksek kaliteli içerik sunmakta ve medya tüketiminde daha erişilebilir bir model yaratmaktadır. Hücresel haberleşme teknolojileri ile entegre olan 5G Broadcast, hem medya hem de toplumsal yarar sağlayacak yeni uygulamalar için geniş bir potansiyel sunmaktadır.

5G yayıncılık teknolojisi her ne kadar umut verici olsa da, cihaz uyumluluğu ve altyapı gereksinimleri gibi bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Henüz tüm mobil cihazların 5G

yayın sinyallerini alacak donanıma sahip olmaması, bu teknolojinin yaygınlaşması önündeki en büyük engellerden biridir. Ancak, teknoloji üreticileri ve operatörler, 5G yayın uyumlu cihazların piyasaya sürülmesiyle bu sorunun kısa vadede çözülmesini öngörmektedir Altyapı ve cihaz uyumluluğu gibi bazı engellerin aşılması ile birlikte, 5G'nin medya yayıncılığında daha da yaygınlaşacağı ve izleyici deneyiminde köklü bir dönüşüm yaratacağı öngörülmektedir.

Özetle, 5G yayıncılık teknolojisi, yayıncılık alanında köklü yenilikler sunmakta ve gelecekte mobil medya tüketimini tamamen dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen saha denemeleri, 5G yayıncılığın geniş kitlelere düşük maliyetli ve yüksek kaliteli medya içeriği sağlama yeteneğini ortaya koymuştur.

Öneriler

Tezin son bölümünde farklı ülkelerde 5G Broadcast teknolojisiyle yapılan çeşitli denemeler incelenmiş ve bu teknolojinin medya içeriklerini geniş kitlelere veri kullanmadan iletme potansiyeli vurgulanmıştır. Avrupa, Asya ve Amerika'da yapılan testler, 5G Broadcast'in televizyon, radyo ve video içeriklerinin bir milisaniyeden daha düşük gecikme süresiyle mobil cihazlara aktarımını sağlamayı amaçlamıştır. Almanya, Avusturya ve İtalya gibi ülkelerde yapılan testler özellikle büyük spor etkinliklerinde gerçek zamanlı yayın için uygun altyapının geliştirilmesini hedeflemiştir.

Türkiye genelinde 5G Broadcast teknolojisinin uygulanması adına öneriler şu şekilde sunulabilir:

- Almanya ve Avusturya'da olduğu gibi Türkiye'de de büyük şehirlerde pilot projeler yapılmalıdır. İstanbul, Ankara ve İzmir gibi metropol bölgelerinde, özellikle stadyumlar ve konser alanları gibi büyük etkinlik merkezlerinde düşük gecikmeli canlı yayın denemeleri gerçekleştirilebilir. Böylece büyük kitlelere sorunsuz içerik aktarımı sağlanarak teknolojinin faydaları görülecektir.
- Türkiye'nin kırsal bölgelerinde televizyon ve radyo yayınlarının erişilebilirliği 5G Broadcast ile genişletilebilir. Özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde 5G Broadcast altyapısı kullanılarak mobil cihazlar üzerinden televizyon ve radyo yayını sağlanabilir. Kaliteli yayın hizmeti ulaşan kişi sayısı da artacaktır.
- Japonya ve Almanya'daki testlerde olduğu gibi, Türkiye'de de afet durumları için 5G Broadcast teknolojisi kullanılabilir. Afet durumlarında (deprem, sel gibi), 5G

Broadcast teknolojisi, geniş bir coğrafyaya anında bilgilendirme ve uyarı yapabilir. Bu teknoloji, afet anında geniş bir coğrafi alanda kesintisiz bilgi akışı sağlayarak can ve mal kaybının azaltılmasına katkı sunabilir. Türkiye gibi doğal afetlere yatkın bir ülkede, bu teknoloji kritik bilgi akışı sağlayarak hayat kurtarabilir.

- İtalya'nın Torino şehrinde yapılan testlerden ilham alınarak, Türkiye'nin turistik bölgelerinde (Kapadokya, Antalya, Bodrum vb.) turistlere yönelik artırılmış gerçeklik (AR) uygulamaları ve rehberli turlar için 5G Broadcast kullanılabilir. Özellikle müzelerde, antik kentlerde ve turistik alanlarda ziyaretçiler, mobil cihazlarından bu deneyimlere erişebilir. Bu, turizm sektörüne yeni bir boyut kazandırabilir.
- Eğitim amacıyla Türkiye'deki okullar (özellikle kırsal bölgelerde internet erişimi kısıtlı olan okullarda) ve üniversiteler için uzaktan eğitimde 5G Broadcast teknolojisi kullanılabilir. Devlet destekli eğitim platformları bu teknoloji üzerinden ücretsiz yayın yaparak öğrencilere kesintisiz eğitim sunabilir.
- Kamu yayıncısı TRT, 5G Broadcast ile daha geniş kitlelere veri tüketmeden erişim sağlayabilir.
- Almanya'daki denemelerde olduğu gibi,Türkiye'de de araç içi eğlence sistemlerinde 5G Broadcast teknolojisi kullanılabilir. Otoyollarda araç içi medya sistemleri, yolculuk boyunca yüksek kaliteli video ve müzik yayınlarına erişim sağlayabilir.
- Türkiye'deki büyük televizyon yayıncıları (TRT, özel kanallar) ile mobil operatörler (Turkcell, Vodafone, Türk Telekom) arasında ortak projeler geliştirililebilir. Ortak altyapı kullanımını teşvik ederek maliyetler düşürülebilir ve hizmet daha geniş kitlelere ulaşabilir.
- 5G Broadcast, kişiselleştirilmiş reklamcılık için yeni fırsatlar sunmaktadır. Yerel reklamlar ve hedefli içerik ile izleyici kitlesine özel reklamcılık uygulamaları geliştirilerek gelir artırılabilir. Yayıncılar, reklamcılarla işbirliği yaparak televizyon reklamcılığını mobil cihazlara taşıyabilir.
- Futbol maçları, konserler ve diğer canlı etkinliklerde izleyicilerin 5G Broadcast üzerinden yayınları izlerken anketlere katılabileceği, canlı yorumlar yapabileceği veya etkileşimde bulunabileceği platformlar geliştirilebilir. Bu, izleyiciyi daha interaktif hale getirir ve yayıncılar için veri toplama fırsatı sunar.

- Akıllı şehir uygulamaları kapsamında, 5G Broadcast ile trafik bilgileri ve toplu taşıma güncellemeleri şehirlerde yaygınlaştırılabilir. Bu, sürücülere ve toplu taşıma kullanıcılarına gerçek zamanlı bilgi sunarak ulaşımı daha verimli hale getirebilir.
- 5G Broadcast, Türkiye'nin sağlık sisteminde kullanılabilir. Büyük sağlık organizasyonlarında, afet durumlarında veya pandemilerde sağlık bilgilendirmeleri, aşı kampanyaları ve diğer kritik mesajlar bu teknoloji ile kesintisiz bir şekilde halka iletilebilir.
- Stadyumlar gibi kalabalık alanlarda izleyiciler, 5G Broadcast ile canlı kamera açılarına veya özel içeriklere erişebilir. Bu teknoloji, özellikle büyük spor etkinliklerinde sinyal kaybı yaşamadan izleyici deneyimini zenginleştirir.
- Türkiye'de tarımsal alanlarda 5G Broadcast kullanılarak çiftçilere anlık hava durumu, ekin durumu, piyasa fiyatları gibi bilgilendirmeler yapılabilir. Akıllı köy projeleri için bilgi yayını ve eğitim programları oluşturulabilir.

RTÜK (Radyo Televizyon Üst Kurulu) özelinde 5G Broadcast teknolojisini değerlendirecek olunursa:

- 5G Broadcast teknolojisinin kullanımıyla ilgili regülasyonları geliştirerek, yayıncıların ve operatörlerin bu yeni teknolojiyi nasıl entegre edebileceklerini belirleyen mevzuat düzenlemeleri yapılabilir. Özellikle frekans tahsisi, içerik düzenlemeleri ve veri güvenliği gibi konulara yönelik yeni kurum planları oluşturulabilir.
- Türkiye'deki büyük şehirlerde (İstanbul, Ankara, İzmir) ve büyük etkinliklerde (futbol maçları, konserler) başlatılacak saha denemelerine RTÜK teknik ve yasal destek sağlayabilir.
- Mobil operatörler ve medya hizmet sağlayıcı kuruluşlar arasındaki işbirliği teşvik edilebilir. Bu işbirliği, yayıncıların içeriklerini 5G teknolojisi üzerinden daha geniş kitlelere ulaştırmasına olanak tanıyacaktır. Ortak altyapı kullanımını desteklenirse maliyetlerin düşmesi de sağlanacaktır.
- 5G Broadcast teknolojisi, radyo ve televizyon frekanslarının etkin kullanımı açısından kritik öneme sahiptir. Mevcut frekansların yeniden yapılandırılması sağlanarak, 5G Broadcast için gerekli frekans tahsisi yapılabilir. Bu, televizyon ve radyo yayıncılarının 5G ağlarıyla daha entegre çalışmasını mümkün kılabilir.

- Kamuoyunu ve medya kuruluşlarını 5G Broadcast'in avantajları hakkında bilgilendiren kampanyalar düzenleyebilir. Yeni teknolojinin getirdiği fırsatları hem yayın üreticilerine hem de izleyicilere tanıtarak farkındalığı artırabilir.
- RTÜK, 5G Broadcast teknolojisi konusunda medya çalışanlarına yönelik eğitim programları düzenleyebilir. Bu programlar, medya kuruluşlarının teknik ekiplerinin ve yayıncıların yeni teknolojiye adapte olmalarını sağlayabilir. Ayrıca sertifikasyon programları oluşturarak 5G teknolojisiyle uyumlu içerik üretimini teşvik edebilir.
- 5G Broadcast teknolojisi, afet durumlarında geniş kitlelere anında bilgi iletme kapasitesine sahiptir. RTÜK, bu teknoloji ile birlikte acil durum iletişim stratejileri geliştirebilir ve afet bölgelerinde hızlı bilgi akışını destekleyebilir.
- RTÜK, etkileşimli yayıncılık modellerinin geliştirilmesi için teşvikler sunabilir. İzleyicilerin 5G Broadcast üzerinden daha interaktif içeriklere erişimini sağlayacak uygulamaları (örneğin canlı etkinliklerde çoklu kamera açısı seçimi) destekleyebilir.

Bu gibi stratejilerle, RTÜK, Türkiye'de 5G Broadcast teknolojisinin yaygınlaşmasına öncülük ederek yayıncılık sektörünü mobil ağlarla birlikte sayısal dönüşüme adapte edebilir.

KAYNAKLAR

3GPP. (2017). Enhanced television services over 3GPP eMBMS. 3rd Generation Partnership Project. www.3gpp.org/images/PDF/EnTV_article_for_3GPP_Web_site_v8.pdf

3GPP (2022). 3GPP Portal. https://portal.3gpp.org/ (15.08.2024)

3GPP RAN 75 RP-170449. (2017). Agenda item: 9.1: Discussion on the evolution of MBMS, Qualcomm Incorporated, Dubrovnik, Croatia.

5G Observatory. (2024). What is 5G? https://5gobservatory.eu/about/what-is-5g/ (17.09.2024)

5G-Mag.(2022). 5G Broadcast trials during Eurovision Song Contest Ateme, EBU, France TV, ORS, Qualcomm, RAI, SWR. MEDIA ACTION GROUP. https://www.5g-mag.com/post/multi-site-5g-broadcast-trials-during-eurovision-song-contest-in-italy-austria-france-and-germany

5G-Xcast. (2019). D2.4: Analysis and Deployment of Terrestrial Broadcast in 5G-Xcast.

Adobe. (2024). Artırılmış gerçeklik nedir? Adobe. https://www.adobe.com/tr/products/substance3d/discover/what-is-augmented-reality.html (14.09.2024)

Arcidiacono, A., EBU. (2019). Native 5G broadcasting. https://www.ebu.ch

Agarwal, A., Agarwal, K., Agarwal, S., Misra, G. (2019). Evolution of Mobile Communication Technology towards 5G Networks and Challenges. American Journal of Electrical and Electronic Engineering, 7(2), 34–37. https://doi.org/10.12691/ajeee-7-2-2

Ahmadi, S. (2009). An overview of next-generation mobile WiMAX technology. IEEE Communications Magazine, 47(6), 84–98.

Akar, M. (2017). Sayısal Televizyon Yayıncılığında Sıkıştırma Teknolojileri ve Uygulamaları [Üst Kurul Uzmanlık Tezi]. Radyo ve Televizyon Üst Kurulu.

Akkurt, R. (2021). Geçmişten Günümüze Kablosuz Mobil İletişim Teknolojileri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 115-119. https://doi.org/10.31590/ejosat.991625

Akyol, O. (2015). Televizyon Ekranının Değişimi, s.170-203. Yeni Medya Çağında Televizon içinde (Ed: Sedat Özel). İstanbul: Derin Yayınları.

Alencar, M. S. (2002). On the digital television waves – Part III (in Portuguese). Article for an electronic newspaper over the Internet, Jornal do Commercio Newspaper On Line, Recife, Brazil.

Alsharif, M. H., Nordin, R. (2016). Evolution towards fifth generation (5G) wireless networks: Current trends and challenges in the deployment of millimetre wave, massive MIMO, and small cells. Telecommunication Systems, 64(4), 617–637. https://doi.org/10.1007/s11235-016-0195-x

Amodu, O. A., Othman, M. (2018). Machine-to-Machine Communication: An Overview of Opportunities. Computer Networks, 145, 255–276. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.09.001

Angelides, M. C., Agius, H. (2010). The Handbook of MPEG Applications: Standards in Practice. Wiley.

Arcidiacono, A. (2019). Native 5G broadcasting. European Broadcasting Union. https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2019/01/5.-EBU-Native-5G-broadcasting-Bruxelles_120219.pdf

ARD. (2024). 5G Broadcast Test. (https://www.ard.de/die-ard/presse-und-kontakt/ard-pressemeldungen/2024/09-09-5G-Broadcast-Test-Zukunftstechnologie-begeistert-Nutzer-in-Hamburg-100/)

Arup (2022). Why 5G may be taking longer than we thought. https://www.arup.com/perspectives/why-5g-may-be-taking-longer-than-we-thought. 05.08.2024

Aselsan. (2022) 5G NEDİR? Aselsan. https://www.aselsan.com/tr/blog/detay/332/5g-nedir erişim 17.09.2024

AT&T. (2023). 5G and sustainability in transportation and manufacturing, https://www.business.att.com/content/dam/attbusiness/ebooks/5g-and-sustainability-in-transportation-and-manufacturing-ebook.pdf.

Atkin, B. (2015). ATSC 3.0: Where We Stand. ATSC : NextGen TV. http://atsc.org/newsletter/atsc-3-0-where-we-stand 23.09.2024).

Ateme. (2022). For the 2022 Roland-Garros tournament, France Télévisions is experimenting with new ways to distribute live tennis games using 5G - Ateme. Ateme. www.ateme.com/press/for-the-2022-roland-garros-tournament-france-televisions-is-experimenting-with-new-ways-to-distribute-live-tennis-games-using-5g/.

Attaran, M. (2019). 5G wireless: A transformative, disruptive technology. Industrial Management (Norcross, Georgia). 61. 16-21.

Attaran, M. (2021). The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitization. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 14(5), 5977–5993. https://doi.org/10.1007/s12652-020-02521-x

Avcı, B., (2012). İletişim Sektöründe Tutundurma Çabalarının Önemi ve Kablo TV Üzerine Bir Uygulama. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara.

Aydın, S (2000). Televizyon Terimleri Sözlüğü. İstanbul: Türkmen Kitabevi.

Bay, N. (2007).Radyo ve Televizyon Yayıncılığı. Nüve Kültür Merkezi: İstanbul.

Baybars, B. (2017). Analog Dijital Sinyal Dönüşüm Mantığı. mekatronik-sistemler. http://mekatronik-sistemler.blogspot.com/2017/03/analog-dijital-sinyal-donusum-mantg.html

Beard, C., Stallings, W., Tahiliani, M. P. (2015). Wireless Communication Networks and Systems, Global Edition.

BEREC, (2018). Study on Implications of 5G Deployment on Future Business Models. www.dotecon.com/wp-content/uploads/2023/03/berec_implications_of_5G.pdf 14.09.2024

Beutler, R. (2008). Frequency Assignment and Network Planning for Digital Terrestrial Broadcasting Systems. Springer Science & Business Media.

Beutler, R. (2016). Evolution of Broadcast Content Distribution. In Springer eBooks.

Božanić, M., Sinha, S. (2021). Mobile Communication Networks: 5G and a Vision of 6G. Springer Nature.

Broadcast Networks Europe. (2023). 5G BROADCAST TRIALS IN EUROPE. https://broadcast-networks.eu/wp-content/uploads/5G-broadcast-trial-leaflet.pdf

Can, E. (2006). Vericilerden Sayısal Tv (Dvb-T) Yayınları Deneme ve Düzenli Yayınlara Geçiş Stratejileri, Sayısal yayıncılık Paneli, Radyo Televizyon Üst Kurulu, Ankara.

Celal, A. (2021). Analog ve Sayısal Elektronik Sistemler. diyot.net. https://diyot.net/analog-ve-sayisal-elektronik-sistemler

Celal, A. (2024). Sayısal Tv Yayınları, diyot.net. https://diyot.net/sayisal-tv-yayinlari/ (23.08.2024)

CEPT. (2016). CEPT Report 60: Report B from CEPT to the European Commission in response to the Mandate to develop harmonised technical conditions for the 694-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives, https://docdb.cept.org/download/f1cdb782-3196/CEPTREP060.PDF (31.09.2024).

Chandramouli, D., Liebhart, R., Pirskanen, J. (2019). 5G for the Connected World. John Wiley & Sons.

Chapman, T., Larsson, E., Von Wrycza, P., Dahlman, E., Parkvall, S., Skold, J. (2014). HSPA Evolution: The Fundamentals for Mobile Broadband. Academic Press.

Chen, J., Karczewicz, M., Huang, Y., Choi, K., Ohm, J., Sullivan, G. J. (2019). The Joint Exploration Model (JEM) for Video Compression With Capability Beyond HEVC. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 30(5), 1208–1225. https://doi.org/10.1109/tcsvt.2019.2945830

China Standard (2006). China Standard: GB 20600-2006 Framing Structure,Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System(DTMB).

China. (2019). 5G remote Surgery Performed in China. http://www.china.org.cn/china/2019- 01/20/content_74391295.html (14.09.2024)

Condoluci, M., Mahmoodi, T. (2018). Softwarization and virtualization in 5G mobile networks: Benefits, trends and challenges. Computer Networks.

Coşar, Ö. (2008). Yeni Yayın Teknolojileri, Ankara. http://www.emo.org.tr/ekler/e668e3f91f3ea4d_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=14 (04.08.2024)

Croatia outlines (n.d.). 5G Broadcast plan. https://www.5g.hr/en/news/croatia-outlines-5g-broadcast-plan/

Cubictelecom. (2021). 5G in Agriculture – Realising the Potential of Smart Farming. https://www.cubictelecom.com/blog/5g-agriculture-smart-farming/. (20.09.2024).

Curwen, P., Whalley, J. (2021). Understanding 5G Mobile Networks: A Multidisciplinary Primer. Emerald Group Publishing.

Dahlman, E., Parkvall, S., Skold, J. (2016). 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. Academic Press.

Dahlman, E., Parkvall, S., Skold, J. (2023). 5G/5G-Advanced: The New Generation Wireless Access Technology. Elsevier.

Darrell M. W. (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 (13.09.2024)

Datareportal (2022). Digital around the world. [online] Available at: https://datareportal.com/global-digital-overview. Accessed 05.08.2024.

Demir, Ö. (2007) Avrupa Birliğine Uyum Sürecinde Türk Sayısal Yayıncılığının Düzenlenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Demirci, M. (2013). H265/HEVC Nedir?, http://www.muratdemirci.com.tr/post/H265Nedir (12.08.24).

Digi. (2020). 5G Applications and Use Cases. https://www.digi.com/blog/post/5g-applications-and-use-cases. 05.09.2024

Durmaz, A. (2004). Dijital Televizyonun Temelleri. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Eğitim, Sağlık ve Bilimsel Araştırma Çalışmaları Vakfı Yayınları.

Dubs, E. (2024). How IP-based broadcast meets 5G for resilient and sustainable media distribution. In SESSION: APPLICATION OF 5G IN B ROADCASTING. https://dvb.org/wp-content/uploads/2024/04/2024-NAB-Show_BEIT-Conference_DVB_IP-Based-Broadcast-meets-5G_Final.pdf

DVB. (2024) Technical report, available at http://www.dvb.org (09.08.2024)

Dvorkovich, V. P., Dvorkovich, A. V. (2012). Digital video information systems (theory and practice). Moscow: Technosphere.

EBU. (2014). Availability of PSB Programmes on TV Distribution Platforms, EBU Fact Sheet, tech.ebu.ch/docs/factsheets/ebu_tech_fs_tv_distribution_platforms.pdf

EBU. (2022). 5G Broadcasts of the Eurovision Song Contest – the what, how and why. EBU Technology & Innovation. https://tech.ebu.ch/news/2022/05/5g-broadcasts-of-the-eurovision-song-content--the-what-how-and-why

EBU Committee. (2022). TR 044 4G/5G Broadcast Trials, Tests & Projects. Technical Report

EBU Technical Report. (2016) European Broadcasting Union, TV Programme Accommodation in a DVB-T2 Multiplex For (U)HDTV with HEVC Video Coding. EBU TR054. (2020). 5G for the distribution of audiovisual media content and services. https://tech.ebu.ch/publications/tr054 (31.09.2024).

EBU TR063. (2021) 5G Broadcast network planning and evaluation. https://tech.ebu.ch/publications/tr063 (01.10.2024).

EBU TR064. (2021). Compatibility between 5G Broadcast and other DTT systems in the sub-700 MHz band. https://tech.ebu.ch/publications/tr064 (01.10.2024).

Eralp, A. (2010). http://www.software-turk.com/dijital-tv-yayini-nedir/ (20.02.2017)

Eraslan, M. (2006). Genişbant Bilgisayar Ağları Üzerinden Sayısal Televizyon Yayıncılığı. Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Anabilimdalı. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Muğla.

ETSI TS 103 720, V1.2.1. (2020). 5G Broadcast System for linear TV and radio services; LTE-based 5G terrestrial broadcast system.

ETSI. (2022). Mobile technologies – 5g, 5g Specs | Future technology.

ETSI. (2023). 5G Broadcast System for linear TV and radio services; LTE-based 5G terrestrial broadcast system. In ETSI TS 103 720 V1.2.1. https://cdn.standards.iteh.ai/samples/64260/5c1cdbb8447144b1818adb1c2005c9fb/ETSI-TS-103-720-V1-2-1-2023-06-.pdf

Falciasecca, Valotti. (2009). Guglielmo Marconi: The pioneer of wireless communications. European Microwave Conference, 544–546. http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.ieee-000005296358

Farias, M. C.Q., Carvalho, M.M., and Alencar, M. S. (2008) Digital television broadcasting in Brazil, IEEE MultiMedia.

Fuentes, M., Carcel, J. L., Dietrich, C., Yu, L., Garro, E., Pauli, V., Lazarakis, F. I., Grondalen, O., Bulakci, O., Yu, J., Mohr, W., Gomez-Barquero, D. (2020). 5G New Radio Evaluation Against IMT-2020 Key Performance Indicators. IEEE Access, 8, 110880–110896. https://doi.org/10.1109/access.2020.3001641

Future Forum (2020). 5G Broadcast White Paper (V7L.). FuTURE MOBILE Communication Forum.

Ganatra, A. N. (2017). Developments of 5G Technology [Thesis, Governors State University]. https://opus.govst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1106&context=theses

Garg, V. (2010). Wireless Communications & Networking. Elsevier.

Gawas, A. U. (2015). An Overview on Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G-6G. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 3(5). https://doi.org/10.17762/ijritcc.v3i5.4404

Gimenez, J. J., Renka, P., Elliott, S., Vargas, D., Gomez-Barquero, D. (2018). Enhanced TV Delivery with EMBMS: Coverage Evaluation for Roof-Top Reception. 2018 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)., 14 1 0, 1–5. https://doi.org/10.1109/bmsb.2018.8436737

Gimenez, J. J., Gomez-Barquero, D., Morgade, J., Stare, E. (2018). Wideband Broadcasting: A Power-Efficient Approach to 5G Broadcasting. IEEE Communications Magazine, 56(3), 119–125. https://doi.org/10.1109/mcom.2018.1700675

Goldstein, P. (2015) Updated: Sprint plans to shut down WiMAX network tomorrow, says only a small percentage remain on network.

Gómez-Barquero, D. (2013). Next Generation Mobile Broadcasting. CRC Press.

Gomez-Barquero, D., Gimenez, J. J., Muntean, G., Xu, Y., & Wu, Y. (2022). IEEE Transactions on Broadcasting Special Issue on: 5G Media Production, Contribution, and Distribution. IEEE Transactions on Broadcasting, 68(2), 415–421. https://doi.org/10.1109/tbc.2022.3163818

Gonsioroski, L. H., Santos, A. B. C. D., Fernandes, N., & Da Silva Mello, L. (2023). Testes de Campo com Sistema 5G Broadcast no Brasil. XLI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS. https://doi.org/10.14209/sbrt.2023.1570923871

Grami, A. (2015). Introduction to Digital Communications. Academic Press.

GSMA. (2014). Intelligence, Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile. www.gsmaintelligence.com/research/2014/12/understanding-5g/451

Gülşen, A. (2013). 900 ve 1800 MHz Frekans Bandlarının Gelecekteki Kullanımı ve Türkiye Analizi. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK).

Hanzo, L., Akhtman, Y., Wang, L., & Jiang, M. (2012). MIMO-OFDM for LTE, WiFi and WiMAX: Coherent versus Non-coherent and Cooperative Turbo Transceivers. John Wiley & Sons.

Hart, J. A. (2004). Technology, Television and Competition. Cambridge University Press

Hassan, N., Yau, K. A., & Wu, C. (2019). Edge Computing in 5G: A Review. IEEE Access, 7, 127276–127289. https://doi.org/10.1109/access.2019.2938534 19.09.2024

Holma, H., & Toskala, A. (2018). LTE for UMTS : Evolution to LTE-Advanced. http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB12995607

http://www.fiercewireless.com/wireless/updated-sprint-plans-to-shut-down-wimax-network-tomorrow-says-only-a-small-percentage

https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2012/03/28062010175243.pdf

IBM (2019). What Consumers Expect from 5G Entertainment? www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/immersive-5g-entertainment (13.09.2024)

Ibrahim, K. F. (2007). Newnes Guide to Television and Video Technology: The Guide for the Digital Age-from HDTV, DVD and flat-screen technologies to Multimedia Broadcasting, Mobile TV and Blu Ray. Kidlington, GBR: Newnes.

Indiver, S. (2017). A History and Development in Mobile Communication. *Imperial journal of interdisciplinary research, 3*.

International Finance. (2017). WIVE project uses 5G to increase the business value. https://internationalfinance.com/technology/wive-project-uses-5g-increase-business-value-2/

ISO/IEC 11172-2. (1999). Information Technology – coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s – Part 2:video.

ISO/IEC 13818-3. (1998). Generic coding of moving pictures and associated audio: audio.

ISO/IEC 14496-2 (2004). Information technology – coding of audio-visual objects – Part 2: Visual.

ITU-R BT.1201. (2004). Extremely high resolution imagery (Question ITU-R 226/11).

ITU-R BT.2020-2. (2015). Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange.

ITU-R BT.2137. (2008). Coverage prediction methods and planning software for digital terrestrial television broadcasting (DTTB) networks.

ITU-R BT.2526-0. (2023). Field trials of terrestrial multimedia mobile broadcasting systems. BT Series: Broadcasting service (television).

ITU-R BT.709-1. (1993). HDTV standard for the studio and for international programme exchange, International Telecommunication Union.

ITU-R BT.799-3. (1998). Interfaces for digital component video signals in 525-line and 625-line television systems operating at the 4:4:4 level of recommendation ITU-R BT.601 (Part A).

ITU-R.BT.2043 (2004) Analogue television systems currently in use throughout the world.

ITU-T (2003) Advanced video coding for generic audiovisual services. H.264/AVC or MPEG-4 Part 10. ISO/IEC 14496-10 and ITU-T Recommendation H.264

Javatpoint. (n.d.) Analog Communication: Notes, Examples. https://www.javatpoint.com/analog-communication

Jejdling, F. (2021). Ericsson Mobility Report. https://www.ericsson.com/4ad7e9/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2021/ericsson-mobility-report-november-2021.pdf

Jingyi, C. (2023). What Is an IP-based Production and Broadcasting Network? What Are the Key Technologies Used on the IP-based Production and Broadcasting Network? - Huawei. Huawei. https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/IP-based+production+and+broadcasting+network.html

Joaquín. (2020). VVC / H.266 el codec que entra en la lucha por el dominio de los 8K AndroidPC.es. https://androidpc.es/vvc-h266-video-codec/

Kala, D. (2012). IPTV Teknolojisinin Geleceği ve Türkiye Pazarındaki Yeri. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yönetim Bilişim Sistemleri Programı. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul

Karel. (2020). 5G Nedir? 5G Teknolojisi Neler Sağlıyor? https://www.karel.com.tr/blog/5g-nedir-5g-teknolojisi-neler-sagliyor

Kaymakçıoglu, O. (2014). Televizyon sistemlerinin analogdan sayısala dogru geçirdigi süreç ve bu sürecin Türkiye ekonomisine olan etkileri [Uzmanlık Tezi]. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK).

Kefeli, C. (2008). Video Kodlama, Yüksek Lisans Semineri.

Kharel, U. (2022). Evolution of mobile wireless communication networks to 5G revolution [Bachelor's Thesis]. Metropolia University of Applied Sciences Bachelor of Engineering Information Technology.

Kırık, A. M., (2010). Etkileşimli Televizyon. İstanbul: Anahtar Kitaplar.

Kırık, A. M., (2015). İnternet Teknolojisi ve Sayısal Yayıncılık Bileşkesinde Gelişen IPTV'nin Günümüzdeki Durumu. Yeni Medya Çağında Televizyon (pp.129-169), İstanbul: Derin Yayınları

Köse, A.H. (2011). Gelişen Tv Teknolojileri Çerçevesinde, Yerel Televizyonlar Ve Sayısal Yayıncılık, İzmir: Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.)

Ler, P. (2020, March 2). eMBMS, FeMBMS, 5G: Cutting through the Technical Jargon - PROGIRA. PROGIRA. https://www.progira.com/embms-fembms-5g-cutting-through-the-technical-jargon/

Li Z.-N., Drew M.S. (2014) Fundamentals of multimedia. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education International.

Li, Z., Drew, M. S., Liu, J. (2021). Fundamentals of Multimedia. In Texts in computer science. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62124-7

Li, Z., Wang, X., Zhang, T. (2020). 5G+: How 5G Change the Society. Springer Nature.

Liikanen, J., Stoneman, P., Toivanen, O. (2004). Intergenerational effects in the diffusion of new technology: the case of mobile phones. International Journal of Industrial Organization, 22(8–9), 1137–1154. https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2004.05.006

Lim, Y., Aoki, S., Bouazizi, I., Song, J. (2014). New MPEG Transport Standard for Next Generation Hybrid Broadcasting System With IP. IEEE Transactions on Broadcasting, 60(2), 160–169. https://doi.org/10.1109/tbc.2014.2315472

Loghin, D., Cai, S., Chen, G., Dinh, T. T. A., Fan, F., Lin, Q., vd. (2020). The Disruptions of 5G on Data-Driven Technologies and Applications. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 32(6), 1179–1198. https://doi.org/10.1109/tkde.2020.2967670

Luo, F. (2011). Digital Front-End in Wireless Communications and Broadcasting: Circuits and Signal Processing. Cambridge University Press.

Lustica, A., Bozek, J. (2019). 5G Technology for Broadcast TV Applications. International Symposium ELMAR 2019, 23-25 September 2019, Zadar, Croatia. https://doi.org/10.1109/elmar.2019.8918666

Luthra, A., Sullivan, G., Wiegand, T. (2003). Introduction to the special issue on the H.264/AVC video coding standard. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 13(7), 557–559. https://doi.org/10.1109/tcsvt.2003.815169

Macksey, K., Woodhouse, W. (1991). The Penguin encyclopedia of modern warfare: 1850 to the present day. Viking.

Marsch, P., Bulakci, Ö., Queseth, O., Boldi, M. (2018). 5G System Design: Architectural and Functional Considerations and Long Term Research. John Wiley & Sons.

MEB (Milli Eğitim Bakanlığı) (2008), Gazetetecilik Radyo TV Tarihi, TC Milli Eğitim Bakanlığı Öğrenim Materyali, Ankara,

Meraj, M., Kumar, S. (2015). Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G. International Journal of Computer Science and Information Technologies.

Minoli, D. (2008). IP Multicast with Applications to IPTV and Mobile DVB-H. Canada, A John Wiley & Sons, Inc. https://doi.org/10.1002/9780470260876

Mishra, A. R. (2007). Advanced Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5G/3G Evolution to 4G. John Wiley & Sons.

Mishra, A. R. (2010). Cellular Technologies for Emerging Markets: 2G, 3G and Beyond. John Wiley & Sons.

Mitrovic, D. (2012). Video Compression, University of Edinburg.

Moller, A., Kurner, T. (2015). LTE link level performance evaluation using stochastic channel models for V2X communication. In IEEE Vehicular Networking Conference (VNC). https://doi.org/10.1109/vnc.2015.7385542

Morgül, A. (2011) Sayısal Televizyon Tekniği, Papatya Yayınlan, İstanbul.

Morgül, A., ATAMAN A.,(1997) Televizyon Tekniği, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Mozar, S., Glasman, K. (2023). Digital Television Fundamentals. The Institution of Engineering and Technology.

Muppavaram, K., Govathoti, S., Kamidi, D. B. (2023). Exploring the Generations: A Comparative Study of Mobile Technology from 1G to 5G. International Journal of Electronics and Communication Engineering, 10(7), 54–62. https://doi.org/10.14445/23488549/ijece-v10i7p106

Nakolos. (2023). High-speed racing and low latency 5G broadcast distribution at the MotoGP in Austria. Nakolos. https://www.nakolos.com/2023/08/24/high-speed-racing-and-low-latency-5g-broadcast-distribution-at-the-motogp-in-austria/

Neves, P., Sargento, S., Fontes, F., M, T., Monteiro, J. (2010). Quality of Service Differentiation in WiMAX Networks. In InTech eBooks. https://doi.org/10.5772/8477

Newson, P., Parekh, H., and Matharu, H. (2018). Realizing 5G New Radio Massive MIMO Systems. www.edn.com/realizing-5g-new-radio-massive-mimo-systems/

Nguyen, D., Nguyen, H., Renault, E. (2016). A new Channel- and QoS-Aware scheduling Scheme for Real-time Services in LTE Network. International Journal of Applied Information Systems, 11(4), 1–8. https://doi.org/10.5120/ijais2016451601

Nokia. (2024). 5G Core network slicing. https://www.nokia.com/networks/network-slicing/ 18.09.2024

O'Driscoll, G. (2008). Next generation IPTV services and technologies. New Jersey: John Wiley & Sons.

OECD. (2019). The road to 5G networks. OECD Digital Economy Papers. https://doi.org/10.1787/2f880843-en

OFCOM, (2014) The Future of Free View TV.

Ohm, J., Sullivan, G. J. (2012). High efficiency video coding: the next frontier in video compression [Standards in a Nutshell]. IEEE Signal Processing Magazine, 30(1), 152–158. https://doi.org/10.1109/msp.2012.2219672

Oliphant, M. (1999). The mobile phone meets the Internet. IEEE Spectrum, 36(8), 20–28. https://doi.org/10.1109/6.780995

Ong, C., Song, J., Pan, C., Li, Y. (2010). Technology and standards of digital television terrestrial multimedia broadcasting [Topics in Wireless Communications. IEEE Communications Magazine, 48(5), 119–127. https://doi.org/10.1109/mcom.2010.5458372

Paçacı K., Çetin T., Alpay N. G. (2011). 800 MHz Bandının Mobil Haberleşme Hizmetlerinde Kullanımı, BTK Araştırma Raporu.

Paçacı, K., Seçki, A., & Pençereci, Ş. (2010). Düzenleyici Kurumların Sayısal Yayıncılıkta Rolü. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) .

Pcmagazin. (2015). Das erste deutsche Fernsehpatent von Paul Nipkow. Connect-living. https://www.connect-living.de/ratgeber/paul-nipkow-fernseher-patent-deutschland-geschichte-3148479.html (03.08.2024)

Pearson, C. (2012). HSPA+ Building Global Momentum: Success in the 3GPP Evolution of HSPA.

Penttinen, J. T. J. (2015). The Telecommunications Handbook: Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems. http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB18476533

Penttinen, J. T. J. (2016). The LTE-Advanced Deployment Handbook: The Planning Guidelines for the Fourth Generation Networks. John Wiley & Sons.

Penttinen, J., (2015) The Telecommunications Handbook: Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems, First Edition.

Pwc Global. (2020). 5G in Manufacturing. PricewaterhouseCoopers, https://www.pwc.com/gx/en/tmt/5g/pwc-5G-in-manufacturing.pdf

Qorvo (2022). Small cell networks and the evolution of 5G. Qorvo. https://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g (15.09. 2024).

QS Study. (n.d.). WiMax – worldwide interoperability for Microwave Access. https://qsstudy.com/wimax-worldwide-interoperability-for-microwave-access/

Rahman, O., Ahmmed, T. (2016). Study on 5G. East West Unıversıty.

Qualcomm. (2021). Making 5G broadcast ready for prime time. Qualcomm. www.qualcomm.com/news/onq/2021/04/making-5g-broadcast-ready-prime-time

Rappaport, T. S., Sun, S., Mayzus, R., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., vd.. (2013). Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work! IEEE Access, 1, 335–349. https://doi.org/10.1109/access.2013.2260813

Resende, L. E. A. (2004). Development of a performance analysis platform for the ISDB-T television standard. Master's dissertation. PUC-RJ, Rio de Janeiro, Brazil.

Richardson, I. E. (2024). Coding Video: A Practical Guide to HEVC and Beyond. John Wiley & Sons.

Rivington, J. (2014). 4K TV Channels On The Way as DVB-UHDTV Standard is Approved, http://www.techradar.com/news/television/tv/4k-tv-channels-on-the-way-as-dvb-uhdtv-standard-is-approved-1256181 (12.08.24).

Romain. (2021,). Standards de codage couleur et modes de balayage. Apprendre Le Cinéma. https://apprendre-le-cinema.fr/standards-de-codage-couleur-et-modes-de-balayage/

Safavi-Naini, R., Susilo, W., Taban, G. (2001). Towards securing 3G mobile phones. In Proceedings. 9th IEEE International Conference on Networks, ICON 2001(222-227).

Sambanthan, P., Muthu, T. (2017). Why Femtocell Networks. Global Journal of Researches inEngineering.https://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/download/1641/1572

Sami, W. (2018). 5G for media. Broadcast Istanbul 2018 Forum, İstanbul, Turkey.

Sankur, B. (1998). Çokluortamlı Yayıncılık, Türkiye Ulusal Enformasyon Altyapısı Proje Ofisi- TUENA Çalışma Belgesi. Ankara.

Sauter, M. (2017). From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G. https://doi.org/10.1002/9781119346913

Secgin, S. (2023). Evolution of Wireless Communication Ecosystems. John Wiley & Sons.

Sengupta, A., Rodriguez Fernandez, J., Rico Alvarino, A., & Stockhammer, T. (2023). 5G Broadcast Receivers: Optimizing Performance Under Implementation Constraints. International Broadcasting Convention (IBC).

Shetty, R. S. (2021). 5G Mobile Core Network: Design, Deployment, Automation, and Testing Strategies. Apress.

Shurdi, O., Lala, A. (2023). Towards Broadcasting Linear Content Over 5G Network. European Scientific Journal ESJ, 19(24), 246. https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n24p246

Simpson, W. (2008). Video Over IP: IPTV, Internet Video, H. 264, P2P, Web TV, and Streaming: A Complete Guide to Understanding the Technology. Elsevier.

Slater, J. (1991). Modern Television Systems: To HDTV and Beyond. London, GBR: CRC Press

Smartprix. (2019).What is 5G NR? What to expect from the next decade wireless communication? https://www.smartprix.com/bytes/what-is-5g-here-is-what-to-expect-from- the-next-decade-of-wireless-communication/ 05.09. 2024.

Song, J., Yang, Z., Wang, J. (2015). Digital Terrestrial Television Broadcasting: Technology and System. In Wiley-IEEE Press eBooks. http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2846138

Srivastava, H. O. (2002). Interactive TV Technology and Markets. Artech House.

Stl Partners. (2022). 5G Standalone vs Non-standalone: Deployment models. https://stlpartners.com/articles/telco-cloud/5g-deployment-models-standalone-vs-non-standalone/. 02.10 2024.

Sullivan, G. J., Ohm, J., Han, W., Wiegand, T. (2012). Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 22(12), 1649–1668. https://doi.org/10.1109/tcsvt.2012.2221191

Şahin, B. (2013). Televizyon İçin Yeni Yayın Teknolojileri ve IPTV. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Gazetecilik Anabilim Dalı Basın Ekonomisi ve İşletmeciliği Bilim Dalı. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Şeker, T. (2009). Teknoloji ve Televizyon. Konya: Literatürk Yayıncılık .

Taga, M. A. & Rohde & Schwarz GmbH. (2022). 5G Broadcast – A New Era Of Content Delivery. Broadcast Technology, 41. https://www.ieee.org/bts

TEC. (2023). Technical Report on Direct Broadcasting to Mobile Handheld Devices. Telecommunication Engineering Centre (TEC). www.tec.gov.in/pdf/consultations/Draft%20Report%20on%20D2M_2023_12_26.pdf

The Skyscraper Center. (n.d.). Oriental Pearl Television Tower. www.skyscrapercentre.com/building/oriental-pearl-television-tower/9388

Tkachenko, D., Di, Z., Popov, E., Vargauzin, V., Greshnevikov, K., Nikitin, A., Gelgor, T., Gelgor, A., Angueira, P. (2023). Scenarios for Co-Existence of Digital TV and 5G Broadcast Services in UHF Band. International Conference on Electrical Engineering and Photonics 2023. https://doi.org/10.1109/eexpolytech58658.2023.10318786

Törenli, N (2005). Yeni Medya, Yeni İletişim Ortamı. Ankara: Bilim ve Sanat.

Tude, E., (2006). UMTS Tutorial Technical report. www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwcdma

Türker, H. (2010). 3g To 4g (Lte) Exchange Requırements And Compatıbılıty [M.Sc. Thesis]. İstanbul Technıcal Unıversıty.

TVBEurope. (2024). A new era of broadcasting at the Olympic Games. https://www.tvbeurope.com/media-delivery/a-new-era-of-broadcasting-at-the-olympic-games

TVU Networks. (2024). france.tv PARIS 2024 - 100% Cloud, 5G | First in Broadcast History. www.tvunetworks.com/story/francetv-paris2024-cloud-production-playout/

VTT Technical Research Centre. (2019). Support for mobile broadcast streaming service as part of 5G test network in Oulu. VTT. https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/support-mobile-broadcast-streaming-service-part-5g-test-network-oulu

Versatile video coding(VVC) (2020). ISO/IEC 23090-3 and ITU-T Recommendation H.266.

Video Coding Experts Group (VCEG). (2022). ITU. https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2022-2024/16/video/Pages/vceg.aspx

Valerie. (2024). Paris 2024: Private 5G Network to Revolutionize Olympic Broadcasting - Welcome To The 5Gstore Blog Welcome. 5Gstore Blog. https://5gstore.com/blog/2024/07/15/paris-2024-private-5g-network-to-revolutionize-olympic-broadcasting/

Views, F. (2024) Views Imagem & Comunicação Ltda., www.fazendovideo.com.br

Wenger, Stephan & Wang, Ye-Kui & Schierl, Thomas & Eleftheriadis, A. (2011). RTP payload format for scalable video coding.

Wu, Y., Hirakawa, S., Reimers, U., Whitaker, J. (2006). Overview of Digital Television Development Worldwide. Proceedings of the IEEE, 94(1), 8–21. https://doi.org/10.1109/jproc.2005.861000

XGen Network. (2024). Introduction to 5G Broadcast.

Yadav, R. (2017). "Challenges and evolution of next generations wireless communication." In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (Vol.2)

Yaman, H. (2017). Sayısal Yayıncılığın Sağladığı Olanaklar; Etkileşimli Televizyon Ve Iptv Uygulamaları. MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6(3), 243-256.

Yan, J., Harri, J. (2022). MCS Analysis for 5G-NR V2X Sidelink Broadcast Communication. 2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). https://doi.org/10.1109/iv51971.2022.9827311

Yang, C., Chen, J., Mai, Y., Liang, C. (2015). Adaptive load-based and channel-aware power saving for non-real-time traffic in LTE. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015(1). https://doi.org/10.1186/s13638-015-0435-x

Yang, H., Yu, A., Zhang, J., Nan, J., Bao, B., Yao, Q., Cheriet, M. (2020). Data-Driven Network Slicing From Core to RAN for 5G Broadcasting Services. IEEE Transactions on Broadcasting, 67(1), 23–32. https://doi.org/10.1109/tbc.2020.3031742

Zengin, F. 2016 "Dijital Sinemanın Doğuşu ve Gelişimi", Dijital Sinema Kuramdan Tekniğe (ed. Rıdvan Şentürk), İstanbul: İnsan Artı Yayınları. Morgül Avni (2011). Sayısal Televizyon Tekniği. İstanbul: Papatya Yayıncılık.

Zhang, L., Farhang, A., Feng, G., Onireti, O. (2020). Radio Access Network Slicing and Virtualization for 5G Vertical Industries. John Wiley & Sons.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı: Büşra MURATOĞLU

E-Posta Adresi: busramuratoglu@rtuk.gov.tr

İş Deneyimi:

Görev Yeri	**Ünvanı**	**Yıl**
Üst Kurul Uzman Yardımcısı	Radyo ve Televizyon Üst Kurulu	2021 - …

Akademik Bilgiler

Öğrenim Durumu:

Derece	**Bölüm/Program**	**Üniversite**	**Yıl**
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Gazi Üniversitesi	2011 - 2015
Lisans	Beslenme ve Diyetetik	Gazi Üniversitesi	2016 - 2020

RTÜK