T.C.
RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU

YAYINCILIKTA DEĞİŞEN GÖRÜNTÜ TEKNOLOJİLERİ

UZMANLIK TEZİ

HAZAL ZORAL GEMALMAZOĞLU

ANKARA
ARALIK, 2022


RTÜK
RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU

T.C.
RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU

YAYINCILIKTA DEĞİŞEN GÖRÜNTÜ TEKNOLOJİLERİ

UZMANLIK TEZİ

HAZAL ZORAL GEMALMAZOĞLU

DANIŞMAN: ÜST KURUL UZMANI SEYDA MENTEŞ

ANKARA
ARALIK, 2022

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Başkanlığına,

Hazal ZORAL GEMALMAZOĞLU adlı Üst Kurul Uzman Yardımcısının hazırladığı "Yayıncılıkta Değişen Görüntü Teknolojileri" 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	Deniz GÜÇER Üst Kurul Üyesi	……..
Üye	Dr. İbrahim USLU Üst Kurul Başkan Yardımcısı	……..
Üye	Deniz GÜLER Daire Başkanı	……..
Üye	Seyda MENTEŞ 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. 19/12/2022

Hazal ZORAL GEMALMAZOĞLU

Üst Kurul Uzman Yardımcısı

TEŞEKKÜR

"Yayıncılıkta Değişen Görüntü Teknolojileri" isimli bu tezin hazırlanması sürecine ilişkin olarak; Sayın Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Başkanı ve Üyelerine, Üst Kurul Başkan Yardımcıları Sayın İbrahim USLU ve Sayın Orhan ÖZDEMİR'e, İzin ve Tahsisler Dairesi Başkanı Sayın Aydın DEMİR'e, Daire Başkan Yardımcıları Sayın Ali SARI ve Yasin YİĞİT'e, çalışmalarım süresince beni destekleyen tez danışmanım Üst Kurul Uzmanı Sayın Seyda MENTEŞ'e ve İzin ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı personellerinden değerli mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her daim iyi dilek ve temennileriyle yanımda olan, desteklerini her zaman arkamda hissettiğim çok kıymetli ailem Hülya ve Akın ZORAL'a ve sevgili eşim Kaan GEMALMAZOĞLU'na teşekkür ederim.

ÖZET

YAYINCILIKTA DEĞİŞEN GÖRÜNTÜ TEKNOLOJİLERİ

ZORAL GEMALMAZOĞLU, Hazal

Uzmanlık Tezi

Tez Danışmanı: Üst Kurul Uzmanı Seyda MENTEŞ

Aralık, 2022, 156

Günümüzde kullanıcıların artan talepleriyle birlikte görüntü teknolojileri sürekli ilerleme halindedir. Görüntü hizmetlerine olan talebi karşılamak için yüksek video çözünürlüklerinin ve buna bağlı düşük gecikmeli görüntü elde edilmesini sağlayan video sıkıştırma tekniklerinin gelişimini sağlamak esastır.

Görüntü teknolojilerinin temellerinden olan video çözünürlükleri ve yüksek çözünürlükleri elde etmek için gerekli bileşenler incelenmiştir. Çözünürlük arttıkça görüntülerin iletimi ve depolanma maliyetleri de artmaktadır. Videoların sıkıştırılması üzerine geliştirilmiş teknolojiler bu sorunu çözmeye yöneliktir. Sıkıştırılmamış görüntü verileri yüksek saklama kapasiteleri gerektirmektedir, dolayısıyla bu görüntülerin iletiminde sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu çerçevede video sıkıştırma yöntemleri araştırılmış, hala devam etmekte olan çalışmalar incelenerek bu konuda sunulan son teknolojiler üzerinde durulmuştur.

Video akışının 2022'de tüm internet trafiğinin %82'sine ulaşması beklenmektedir. Akış platformlarının başarısıyla, 4K ve 8K çözünürlüklü gelişmiş multimedya formatlarının genişletilmesi, yüksek miktarda veri iletmek için daha iyi ağ koşulları gerektirmektedir. Gelecekte dijital dünyanın en önemli sağlayıcısı olacak 5G ağları hizmete girdikçe, beklenen yüksek bant genişlikleri, düşük uçtan uca gecikmeler ve geliştirilmiş güvenilirlik, mobil video tüketimi talebini karşılamayı sağlayacaktır. 5G ağlarında yüksek kaliteli video dağıtımı, video içeriğine yönelik talepler arttıkça oldukça popüler bir konu haline gelmiştir.

Bu çalışmada 5G ağlarının, bant genişliğinde artış ve düşük gecikme süresi dahil olmak üzere sunduğu iyileştirmeler ve yeni çözümler paylaşılmıştır. Ayrıca, 5G mimarisinin

sunduğu SDN, NFV, mmWave, MEC, eMBB ve ağ dilimleme gibi kilit teknolojilerin çalışmalara dahil edilmesiyle UHD video sorunsuz koşullar altında iletilecek ve kullanıcıların istedikleri zaman, istedikleri yerde yüksek çözünürlüklü video izleyebilmeleri sağlanacaktır. Bu çalışmada, yeni görüntü teknolojileri, yeni nesil ağlar ve 5G kullanım durumları ile ortaya çıkan sistemlere odaklanılmış ve birtakım önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: video teknolojileri, görüntü kalitesi, sıkıştırma, 5G

ABSTRACT

CHANGING VIDEO TECHNOLOGIES IN BROADCASTING

ZORAL GEMALMAZOĞLU, Hazal

Specialization Thesis

Thesis Advisor: Supreme Council Expert Seyda MENTEŞ

December, 2022, 156

Today, with the increasing demands of users, video technologies are in constant progress. To meet the demand for video services, it is essential to ensure the development of video compression techniques that enable high video resolutions and the associated low latency video to be obtained.

Video resolutions, which are the basics of display technologies, and the necessary components to obtain high resolutions are examined. The higher the resolution, the higher the transmission and storage costs of images. Developed technologies on video compression are aimed at solving this problem. Uncompressed image data requires high storage capacities, so there are problems in transmitting these images. In this context, video compression methods have been researched, the ongoing studies have been examined and the latest technologies presented in this subject have been emphasized.

Video streaming is expected to reach 82% of all internet traffic by 2022. With the success of streaming platforms, the expansion of advanced multimedia formats with 4K and 8K resolution requires better network conditions to transmit large amounts of data. As 5G networks, which will become the most important provider of the digital world in the future, come into service, the expected high bandwidths, low end-to-end delays and improved reliability will enable to meet the demand for mobile video consumption. High-quality video delivery on 5G networks has become a hugely popular topic as the demands for video content increase.

In this study, improvements and new solutions offered by 5G networks, including increased bandwidth and low latency, are shared. In addition, with the inclusion of key

technologies such as SDN, NFV, mmWave, MEC, eMBB and network slicing offered by the 5G architecture, UHD video will be transmitted under smooth conditions, enabling users to watch high-definition video whenever and wherever they want. In this study, new video technologies, new generation networks and 5G use cases have been focused on and some suggestions have been made.

Key Words: video technologies, video resolution, compression, 5G

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER ix
TABLOLAR DİZİNİ xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ xiv
KISALTMALAR/SİMGELER xvi
GİRİŞ 1
Problem 4
Amaç 5
Önem 5
Sınırlılıklar 6
Yöntem 6
Verilerin Toplanması 6
Verilerin Çözümlenmesi 7
BÖLÜM 1 8
TELEVİZYON YAYINCILIĞIN GELİŞİMİ VE TARİHÇESİ 8
1.1.Televizyon Yayıncılığının Gelişim Süreci 8
1.1.1.Mekanik Televizyonlar 14
1.1.2.Elektronik Televizyonlar 14
1.1.3.Renkli Televizyon 15
1.1.4.Televizyon Yayıncılığının Başlaması 19
1.2.Analog Yayıncılık 26
1.2.1.NTSC (National Television System Committee) 26
1.2.2.PAL (Phase Alternating Lines) 26
1.2.3.SECAM (Séquentiel Couleur À Mémoire) 27
1.3.Sayısal Yayıncılık 27
1.3.1.Sayısal Video ve Formatlar 28
1.3.2. Sayısal Yayıncılık Standartları 30
1.3.3.Sayısal Yayıncılıkta İletim Ortamları 31
1.3.3.1. DVB-T ve DVB-T2 31
1.3.3.2.DVB-S ve DVB-S2 32
1.3.3.2.1. DVB-S2X 33

1.3.3.3.DVB-C ve DVB-C2 33
1.4.IPTV 34
1.5.WebTv 34
1.6.Mobil Yayıncılık 35
1.6.1. Mobil Yayıncılık Teknolojileri 35
1.6.1.1.Streaming 35
1.6.1.1.1. İçerik Dağıtım ağları (CDN) 37
1.6.1.2. OTT 38
1.6.1.3.DVB-H 41
1.6.1.4. DVB-T2 Lite 41
1.6.1.5.DVB-I 42
BÖLÜM 2 45
GÖRÜNTÜDE ÇÖZÜNÜRLÜK VE SIKIŞTIRMA TEKNOLOJİLERİ 45
2.1.Yayıncılıkta Görüntü Kalitesi 45
2.1.1.SD (Standard Definition) Görüntü Teknolojisi 49
2.1.2.HD (High Definition) Görüntü Teknolojisi 50
2.1.3. 3DTV 51
2.1.4. 4K / UHD 52
2.1.5. 8K 55
2.1.6. Video Formatlarının Karşılaştırmaları 58
2.1.7.Ekran Kullanımı 58
2.2.Görüntü ve Video Sıkıştırma Teknolojileri 60
2.2.1. Kayıpsız ve Kayıplı Video Sıkıştırma 64
2.2.1.1. Kayıpsız Sıkıştırma 64
2.2.1.2. Kayıplı Sıkıştırma 65
2.2.1.2.1. MPEG (Moving Picture Experts Group) 65
2.2.1.2.2. MPEG-1 65
2.2.1.2.3. MPEG-2 66
2.2.1.2.4. MPEG-4 66
2.2.1.2.5. AVC / H.264 67
2.2.1.2.6. HEVC / H.265 68
2.2.1.2.7. AV1 69
2.2.1.2.8. H.266/VVC (Versatile Video Codec) 70
2.2.1.2.9. AVS3 72
BÖLÜM 3 73

MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ 73
3.1. 1G 75
3.2. 2G 75
3.2.1. 2.5G 76
3.3. 3G 77
3.4. 4G 78
3.4.1. LTE 78
3.4.2.WiMAX 79
3.5. 5G 79
3.5.1. 5G Tasarım Prensibi 84
3.5.2. 5G ve 4G Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi 85
3.5.2.1. Hız: 85
3.5.2.2. Kararlılık ve Taşınabilirlik: 86
3.5.2.3. Gecikme Süresi: 86
3.5.2.4. Daha Geniş Frekans Bantları: 87
3.5.2.5. Bilgi Güvenliği 87
3.5.3. 5G Teknolojisinin Uygulamaları 88
3.5.4. 5G ve Spektrum 89
3.5.5. 5G Teknolojileri 91
3.5.5.1. Massive MIMO: 91
3.5.5.2. Milimetrik Dalga (mm Wave): 92
3.5.5.3. Küçük Hücreler (Small Cells): 93
3.5.5.4. Hüzmeleme (Beamforming): 93
3.5.5.5. Full duplex (FD): 93
3.5.5.6. Nesnelerin İnterneti (IoT): 93
3.5.5.7. Gelişmiş Mobil Geniş Bant (eMBB): 94
3.5.5.8. Ağ Dilimleme (NS): 94
3.5.5.9. Çok Erişimli Uç Bilgi İşlem (MEC): 94
3.5.5.10.Kullanıcı Merkezli Ağ: 95
3.5.5.11.Ağ Sanallaştırma (SDN/NFV): 95
3.5.5.11.1. SDN 96
3.5.5.11.2. NFV 96
3.5.6. Türkiye’de 5G Çalışmaları 97
3.6. 5G'nin Ötesinde 98
BÖLÜM 4 100

YAYINCILIKTA YENİ NESİL AĞLARIN KULLANIMIYLA DEĞİŞEN GÖRÜNTÜ TEKNOLOJİLERİ 100
4.1. Yeni Nesil Ağlar ve Görüntü Teknolojileri Uygulamaları 100
4.2. Artan İletim Kapasitesiyle Birlikte Görüntü Teknolojilerinde Yeni Standartlar ve Son Gelişmeler 105
4.3. Yeni Nesil Ağlar ile Sağlanabilen Teknolojiler 108
4.3.1. Sanal Gerçeklik (VR) 108
4.3.2. Arttırılmış Gerçeklik (AR) 109
Sanal ve Arttırılmış Gerçeklik Görüntü Teknolojilerinin Kullanım Alanları 113
4.3.3. Yapay Zeka (AI) Uygulamaları 114
4.3.4. Karma Gerçeklik (MR) 117
4.3.5. Genişletilmiş Gerçeklik (XR) 117
4.3.6. HBBTV 119
4.3.7. DVB-HB 119
4.3.8. Metaverse 121
4.4. Değişen Görüntü Teknolojilerine Geçişte Yaşanabilecek Sorunlar ve Çözümler 123
4.4.1. Video Kalitesiyle İlgili Sorunlar 123
4.4.1.1.Dilim Hatası 124
4.4.1.2.Karelenme / Pikselleme 124
4.4.1.3.Gölgeleme 125
4.4.1.4.Donma 126
4.4.1.5.Bulanıklık 126
4.4.2. Video Kalitesinin Sağlanabilmesi 127
4.4.3. Mobil Ağlar ve Video Kalitesi 130
Yüksek Görüntü Kalitesi ve 5G Gereklilikleri 131
4.4.4. Görüntü Teknolojilerinin 5G Uygulamalarının Uluslarası Örnekleri 137
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 140
Sonuçlar 140
Öneriler 144
KAYNAKLAR 148
ÖZGEÇMİŞ 156

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo **Sayfa**

Tablo 1. Geçmeli Tarama SD Görüntü Formatları.……49

Tablo 2. HD Görüntü Formatları…….……50

Tablo 3. Mobil Ağ Teknolojilerinin Evrimi…….……74

Tablo 4. 4G ve 5G'nin farklılıkları ve karşılaştırılması…….…….…….....88

Tablo 5. VR/AR Teknolojileri İçin Aktarım Hızı ve Gecikme Gereksinimleri Tahmini..112

Tablo 6. Video İçeriği İçin Çözünürlük ve Bit Hızları.…….....128

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Nipkow'un Sistemi……..……..……..9

Şekil 1.2. Campbell Swinton'ın Çalışması……...…….……10

Şekil 1.3. John Logie Baird ve İcadı……..……...11

Şekil 1.4. İlk İkonoskop…….....……..……..13

Şekil 1.5. Renklerin Kamerada Kullanımı……...16

Şekil 1.6. Renklerin Alıcıda Görünümü…….……..17

Şekil 1.7. Peter Goldmark'ın Kullandığı Sistem.……18

Şekil 1.8. NTSC Sistemi……..…….……...19

Şekil 1.9. 1936 Berlin Olimpiyatlarında Kullanılan İlk İkonoskop Kamera……..……..20

Şekil 1.10. The Baird Televizyonu……...22

Şekil 1.11. Clive Sinclair ve Sinclair Microvision…….……..24

Şekil 1.12. Sayısal TV Sistem Modeli ve Bileşenleri…….....……..…...…….28

Şekil 1.13. DVB'nin En Yaygın Formları…….……...31

Şekil 1.14. Aşamalı İndirme Yöntemi……..37

Şekil 1.15. CDN Öncesi ve CDN Sonrası Sunucuların Karşılaştırılması…….…...38

Şekil 1.16. VOD İlişkilendirmesi……...…..40

Şekil 2.1. HDR İçin Fotoğrafta Gölge Örneklendirmesi……...……..…...…….48

Şekil 2.2. Otostereoskopik 3DTV Teknolojileri…….....……..……..…...52

Şekil 2.3. Görüntüde Bant Efekti…….....……..54

Şekil 2.4. Yayın Formatlarının Karşılaştırılması……..……..…….56

Şekil 2.5. Encoder/Decoder……..…….……...61

Şekil 2.6. Çerçevelerin Referans Durumları…….……..63

Şekil 2.7. GOP Yapısı M=3 N=12.…….63

Şekil 3.1. Küresel Mobil Cihaz ve Bağlantı Büyümesi……..80

Şekil 3.2. 2025 Yılına Kadar, Dünyanın Tahmini 5G Kapsamı……..……...80

Şekil 3.3. Mobil Ağ Teknolojilerinin İlerleme Fazları…….……..83

Şekil 3.4. Massive MIMO ve Kullanımı…….91

Şekil 3.5. Şimdiki ve Yeni Nesil Haberleşme Sistemlerinin Frekans Spektrumu…...…...92

Şekil 4.1. 2023'e Kadar, Bağlı Düz Panel TV Setlerinin 4K Olma Oranı……...….....101

Şekil 4.2. 5G Aracılığıyla Yayıncılığa Geçiş Aşamasında Olan Bazı Ülkeler…….....104

Şekil 4.3. Video Kodeklerinin Zaman Çizelgesi…….…...……...107

Şekil 4.4. Tarihi Roma Hamamları'nda 5G Kullanımı ile AR Uygulaması.……...….110

Şekil 4.5. Fox Sports İnteraktif Medya Teknolojisi…….....……..……...115

Şekil 4.6. Alman Bundesliga AI İnteraktif Yayını.……...……...……..……..116

Şekil 4.7. XR Bileşenleri……..…….....……..118

Şekil 4.8. HbbTV Uygulamasında, Orijinal Programı İşaret Dili Tercümanıyla Birleştiren Bir Video Örneği.……...……...119

Şekil 4.9. DVB-HB Konsepti……..……..120

Şekil 4.10. Dilim Hatası……..……....…....…….124

Şekil 4.11. Karelenme / Pikselleme Hatası……....……...125

Şekil 4.12. Gölgeleme Hatası……..……..125

Şekil 4.13. CDN Örneklemesi ……...……...133

KISALTMALAR/SİMGELER

Kısaltma	Açıklama
1G	Birinci Nesil Mobil Sistemler
1SEG	1 Segment
2G	İkinci Nesil Mobil Sistemler
3D	Three Dimensional
3G	Üçüncü Nesil Mobil Sistemler
3GPP	Generation Partnership Project
4G	Dördüncü Nesil Mobil Sistemler
4K	2160 Satırda 3840 Pikselli Çözünürlük
5G	Beşinci Nesil Mobil Sistemler
6DoF	Six Degrees of Freedom
8K	4320 Satırda 7680 Pikselli Çözünürlük
16K	8640 Satırda 15360 Pikselli Çözünürlük
ABR	Adaptive Bit Rate Coding
AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
ARC	Adaptive Resolution Change
ATSC	Advanced Television Systems Committee
ATSC-M/H	Advanced Television Systems Committee - Mobile/Handheld
AVC	Advanced Video Codec
AVoD	Advertising Video On Demand
AWS	Amazon Web Services

BBC	British Broadcasting Company
BDMA	Beam-division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
CDN	Content Delivery Network
CMMB	China Multimedia Mobile Broadcasting
CRT	Cathode-ray Tube
CU	Coding Unit
D2D	Device-to-device
DCH	Dedicated Channel
DDoS	Distributed Denial of Service
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSS	Digital Satellite System
DTMB	Digital Terrestrial Multimedia Broadcast
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting – Gen 1 Cable
DVB-C2	Digital Video Broadcasting – Gen 2 Cable
DVB-H	Digital Video Broadcasting-Handheld
DVB-I	Digital Video Broadcasting – Specifications for IP Centric TV
DVB-S	Digital Video Broadcasting – Gen 1 Satellite
DVB-S2	Digital Video Broadcasting – Gen 2 Satellite
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Gen 1 Terrestrial
DVB-T2	Digital Video Broadcasting – Gen 2 Terrestrial

DVD	Digital Versatile Disk
EBU	European Broadcasting Union
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
EVC	Enhancement Video Codec
FCC	Federal Communications Commission
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDD	Frequency Division Duplex
FoV	Field of view
FM	Frequency Modulation
FPS	Frames Per Second
FSK	Frequency-shift Keying
GBPS	Giga Bit Per Second
GIF	Graphics Interchange Format
G-PCC	Geometry Based Point Cloud Compression
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HD	High Definition
HDR	High Dynamic Range
HEVC	High Efficiency Video Coding
HFR	High Frame Rate
HSDPA	High Speed Downlink Pocket Access
HSPA	High Speed Pocket Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEC	International Electrotechnical Commission

IoRL	Internet of Radio Light
IPTV	Internet Protocol Television
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting
ISDB-S	Integrated Services Digital Broadcasting - Satellite
ISO	International Organization for Standardization
IT	Information Technology
ITU-T	International Telecommunications Union Telecommunication Standardization Sector
JCT-VC	Joint Collaborative Team on Video Coding
JPEG	Joint Picture Expert Group
JVET	Joint Video Exploration Team
JVT	Joint Video Team
KHZ	Kilo Hertz
LCD	Liquid Crystal Display
LCEVC	Low Complexity Enhancement Video Codec
LED	Light-emitting Diodes
LAN	Local Area Network
LTE	Long-Term Evolution
M2M	Machine-to-machine
MAC	Media Access Control
MBPS	Mega Bit Per Second
MEC	Mobile Edge Computing
MIMO	Multi-Input Multi-Output
MJPEG	Motion Joint Picture Expert Group

MN	Motion Network
mMTC	Massive Machine Type Communications
MVC	Multi View Coding
NFV	Network Functions Virtualization
NMT	Nordic Mobile Telephone
NTSC	National Television Standards Committee
NTT	Nippon Telegraph and Telephone
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OMAF	Omnidirectional Media Format
OTT	Over The Top
PAL	Phase Alternating Line
PDP	Plasma Display Panel
PU	Prediction Unit
PS	Packet Switching
RCA	Radio Corporation of America
PNG	Portable Networks Graphic
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
SD	Standard Definition
SDN	Software-Defined Networking
SDR	Standard Dynamic Range
SECAM	Séquentiel Couleur À Mémoire
SFN	Single Frequency Network
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers

SMS	Short Message Service
SVoD	Subscription Video on Demand
SVP	Service Virtualization Platform
TDMA	Time-Division Multiple Access
TVoD	Transactional Video on Demand
UDN	Ultra Dense Networks
UHD	Ultra High Definition
UHF	Ultra-High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URLLC	Ultra Reliable Low-Latency Communication
VCD	Video Compact Disk
VCEG	Video Coding Experts Group
VFX	Visual Effects
VHF	Very High Frequency
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice Over Internet Protocol
VNF	Network Functions Virtualization
V-PCC	Video Point Cloud Compression
VR	Virtual Reality
VVC	Versatile Video Coding
WAN	Wide Area Network
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WI-FI	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

WWWW	Wireless World Wide Web
XR	Extended Reality

GİRİŞ

Televizyonun ilk nesilleri çoğunlukla, ekranın dönen diskli küçük bir motora ve neon lambaya sahip olduğu elektromekanik sistemlere dayanıyordu. Görüntülerin iletilmesi fikri 19. yüzyıla kadar uzanmaktadır ve bunu 20. yüzyılda tamamen elektronik renkli televizyonların icadına yol açan birçok önemli gelişme izlemiştir. Avrupa'da 20. yüzyılın ilk yarısında, 1950 yılına gelindiğinde çoğu yayıncının tamamen elektronik bir sistem kullandığı çeşitli gelişmeler meydana gelmiştir. Aynı zamanda, diğer iletişim biçimlerinin de ilerlemesi ve yüksek kaliteli, sürükleyici bir yayın deneyimine olan talebin büyümesiyle, kusursuz yüksek çözünürlüklü video ve hareket halindeki insanlar için yeni etkileşimli hizmetler sunmanın ve mobil televizyon sistemleri tasarlamak için dijital yayıncılığın benimsenmesinin önü açılmıştır.

Günümüzde, ağa bağlı ortamlarda zamana duyarlı medya içeriği sağlamak için çok çeşitli teknolojiler vardır. Bir yandan, Dijital Video Yayını (DVB) gibi yayın teknolojileri, aynı içeriği çok sayıda kullanıcıya aynı anda sunabilir. Bu kapsamda medya, karasal (DVB-T), uydu (DVB-S), mobil (DVB-H) ve kablo (DVB-C) teknolojileri kullanılarak yayınlanabilir. Öte yandan, geniş bant dağıtım teknolojilerindeki (IP) bitmeyen ilerlemeler medya dağıtımında büyümeyi ateşlemiştir. Genel olarak, geniş bant dağıtım teknolojileri, ölçeklenebilirlik, kararlılık ve gecikme süresi açısından diğer dağıtım teknolojilerinden daha düşük performans sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, geniş bant dağıtım yöntemlerini kullanmanın açık bir yararı, yayın dağıtım yöntemlerinin tek yönlü doğasının aksine, iki yönlü iletişim yeteneklerinin mevcudiyetidir. Bu, kullanıcıların istekleri doğrultusunda etkileşimli ve özelleştirilmiş medya hizmetlerinin geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda medya, farklı akış ve indirme teknikleri kullanılarak iletilmektedir.

Televizyon ortaya çıktığından beri dünya çapında temel kitle iletişim araçlarından biri haline gelmiş ve varlığı boyunca mümkün olduğunca sürükleyici ve gerçeğe yakın bir deneyim yaratmak için görüntünün kalitesini iyileştirmeye çalışmıştır. Esas olarak, görüntünün kalitesindeki gelişme, ona daha iyi ayrıntı vermek için çözünürlüğün genişletilmesinde yatmaktadır. Daha iyi görüntü kalitesi elde etmek için, hem analog hem de dijital olan farklı yüksek çözünürlüklü televizyon (HDTV) formatları gibi daha yüksek çözünürlüklü formatlar ortaya çıkmıştır. Bir sonraki basamak olarak 4K, önceki adımlardan daha yüksek bir artışı temsil etmiş ve 3840x2160'a ulaşmıştır. 4K teknolojisi, son yıllarda

8K konseptinin ortaya çıkmasına kadar televizyon görüntüsü için tercih edilen standart olarak kabul edilmiştir.

Video kalitesinin birçok farklı yönü vardır ve dijital video sistemlerinin kalitesinin değerlendirilmesi ve nihayetinde optimizasyonu oldukça karmaşık bir problem haline gelmiştir. Bunun nedeni video sistemlerinin karmaşık olması ve birçok bileşenden oluşmasıdır. Bunlara yakalama ve görüntüleme donanımları, dönüştürücüler, kodekler ve ağlar dahildir, dolayısıyla bunların tümü kaliteyi kendi yollarıyla etkiler.

Yayıncılıkta görüntünün izleyicilere olabildiği kadar kayıpsız gönderilmesi ilk önceliklerden biridir. Bu amaç için yapım aşamasında en yüksek kalite sağlayabilen donanım araçları ve kodeklerle çalışmalar yapılır, bunun sonucunda da çözünürlüğün en iyi düzeyde olması istenir. Günümüzde kullanılan kodeklerle yüksek kalitedeki görüntüleri iletmek kolaylaşmış olup kapladığı veri boyutu oldukça azalmıştır.

1990'lardaki internet patlamasından sonra, kablosuz sistemlerin evrimi, insanların iletişim ve birbirleriyle etkileşim şeklini değiştiren inanılmaz teknolojik ilerlemeler sağlayarak, oldukça kısa bir sürede gerçekleşmiştir. Mobil haberleşme sistemlerinde her yeni neslin farklı standartları, kapasiteleri ve özellikleri vardır. En son standart olan 5G'nin ortaya çıkmasıyla daha yüksek performans ile verimlilik sağlamak ilk hedef haline gelmiştir.

İnternetin yaygınlaşmasıyla birlikte yayıncılıkta da birçok yeni eğilim ortaya çıkmıştır. Reklamlar ve sponsorlar aracılığıyla gelir sağlayan platformlar sayesinde video içerikleri hem nicelik hem de nitelik olarak artmaya başlamıştır. İnsanlar artık istedikleri zaman çeşitli cihazlarda (masaüstü ve dizüstü bilgisayarlar, tabletler, akıllı telefonlar, akıllı televizyonlar vb.) tüketebilecekleri özel içerikler arama ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu, VoD hizmetlerinin ortaya çıkmasını kolaylaştırmış ve ardından canlı akış hızla bu gelişmeleri izlemiştir. Web siteleri, uygulamalar veya set üstü kutular aracılığıyla Over-The-Top (OTT) türü dağıtım, şu anda müşterilere video içeriği sunmanın en yaygın yoludur.

Yayıncılık endüstrisi izleyicilerinin geleneksel yayın içeriğinden internet içeriğine geçebileceğinden korkmuştur. Bu nedenle, televizyon pazarında etkileşimli televizyonun tanıtımına yol açan çeşitli yenilikler tanıtılmıştır. Bu yenilikler, izleyiciye ses, video ve metin öğeleri üzerinde kontrol sağlayan yeni hizmetler sunmak anlamına geliyordu. Ayrıca, farklı ekran boyutlarına sahip çok çeşitli elektronik eğlence ekipmanlarına televizyon içeriği sağlama eğilimi vardır. Son olarak, kullanıcının gelişmiş bir uzaktan kumanda kullanarak televizyon ile etkileşime geçebileceği bir geri bildirim kanalı sağlayarak kullanıcının etkileşime girmesine izin verme eğilimi vardır. Etkileşimli televizyon, geleneksel televizyon

yayın hizmetinin internet ile birleşimidir. Bununla birlikte, bu iki teknolojinin yakınsaması, onları birleştirmek kadar basit değildir, çünkü iki durumda da altta yatan teknoloji farklıdır.

Yayın uygulamaları, 5G'de en çok talep gören sektörler arasında yer almaktadır. Özellikle uzaktan üretimde hızlı aktarım hızı, yüksek bant genişliği ve düşük gecikme süresi gereklidir. 5G'deki teknolojik gelişmeler, üretilen ve aktarılan içerik katlanarak büyüdükçe ve kapasite talepleri istikrarlı bir şekilde arttıkça medya endüstrisindeki gelişmeyi güçlendirmeyi ve desteklemeyi vaat etmektedir. 5G, gecikmeyi önemli ölçüde azaltmayı ve yüksek bant genişliğine sahip veri akışları sağlama kapasitesini büyük ölçüde artırmayı vaat etmekte ve böylece dinamik verimli kaynak tahsisi yoluyla yüksek kaliteli medya hizmetleri sağlama şansı sunmaktadır.

Yeni nesil yayıncılıkta izleyiciler herhangi bir gömülü sesli yorumlarını dinlemek zorunda kalabilirler. Bu yerleşik ses akışını örneğin internet üzerinden sağlanan bir radyo istasyonundan biriyle değiştirme şansına sahip olmak fikri izleyiciler tarafından cazip görülebilir. İstenen başka bir özellik, farklı operatörlerden veya içerik sağlayıcılardan gelen televizyon sinyallerini aynı anda izlemek olabilir. Örnek olarak, bu, izleyicilerin içeriği farklı bakış açılarıyla deneyimlemelerini sağlayacaktır. Ayrıca, web beslemelerinin dahil edilmesi, izleyicilerin haberler, istatistikler veya bağlamsal bilgiler hakkında gerçek zamanlı bildirimler almasına olanak tanır.

Yukarıdaki kullanım durumlarının tümü, yayın dünyasında kıt ve pahalı bir varlık olan ek bant genişliği gerektirir. Bu da yeni nesil mobil ağ teknolojileri ve 5G ile sağlanabilir. Buna göre, yayın medya hizmetlerinin ek, ancak ilgili geniş bant medya hizmetleriyle zenginleştirilmesi, aynı zamanda kullanıcıların ilgi alanlarına, ihtiyaçlarına veya profillerine bağlı olarak belirli ek içeriğin istenip istenmemesi için esneklik sağladığı için optimal bir yaklaşım haline gelmektedir.

Bu kapsamda dört bölümden oluşan bu tez çalışmasının ilk bölümünde, televizyon yayıncılığının gelişim süreci, yayın teknikleri ve iletim yöntemleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır, konuyla ilgili güncel gelişmeler incelenmiştir.

İkinci bölümde ise, yayınlarda görüntü kalitesi ve bunu sağlamak için gerekli bileşenler araştırılmıştır. Sonrasında daha yüksek çözünürlüklü görüntülerin daha az yer kaplaması ve daha kolay iletilebilmesi için video sıkıştırma teknolojileri incelenmiş, günümüzde kullanılan ve gelecek için planlanan sistemler de ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, günümüzde internet kullanımının yayıncılık için de oldukça önem kazanmasıyla görüntü teknolojilerinin kullanımı için bir dönüm noktası olabilecek mobil

haberleşme sistemleri araştırılmış, yeni nesil 5G sistemleriyle birlikte kullanılabilecek yeni teknolojiler incelenmiştir.

Son bölümde ise yeni nesil ağlarla birlikte kullanımı yaygınlaşmakta olan çeşitli güncel görüntü teknolojileri tanıtılmıştır. Sonrasında kullanıcı deneyimi için en önemli noktalardan olan görüntü kalitesinin 5G ağlarıyla sağlanması ve sistemin gereklilikleri üzerinde durulmuştur. Son olarak da sözü geçen uygulamaların uluslarası alanda bazı güncel örnekleri ele alınmıştır.

Bu giriş bölümünde; problem, amaç, önem, sınırlılıklar, tanımlar, verilerin toplanması ve verilerin çözümlenmesi alt başlıkları yer almaktadır.

Problem

Temel olarak, internetin günümüzde yaygınlaşmasıyla kablosuz ağlar ağırlıklı olarak video iletiminde kullanılmaktadır. Kablosuz ortam, video sıkıştırmasına maruz kalmadan video karelerinin kaybına kadar aktarma sürecinde birçok zorlukla karşı karşıyadır. Bu kayıplar düşük kaliteli görüntülere yol açar.

Multimedya hizmetlerinin zenginleştirilmesi için yayın ve geniş bant dağıtım teknolojilerinin entegrasyonu bir gerçektir. Bu heterojen bağlamda, farklı kaynaklardan ve farklı dağıtım ağlarından farklı medya içeriğinin oynatılmasında kullanıcı deneyimini en üst seviyede tutmak bir zordur.

Son araştırmalar, medya içeriğinin farklı iletim teknolojileri yoluyla akışı sırasında uçtan uca gecikme farklılıklarının büyüklüklerinin kabul edilebilir sınırlardan çok daha büyük olduğunu, dolayısıyla akışlar arasında senkronizasyon ihtiyacını ortaya çıkardığını göstermiştir. Çok çeşitli medya türlerinin çeşitli kodlama mekanizmalarını, dağıtım protokollerini ve ağları kullanarak farklı türdeki tüketim cihazlarına ulaşabildiği bu karmaşık medya ekosistemi birçok zorlukla karşı karşıyadır. İzleyiciye ulaştırılan yüksek çözünürlüklü sorunsuz bir yayının yeni nesil ağlarla sağlanabilmesi ve birlikte çalışabilirliği günümüz internet çağında birçok problemle karşı karşıyadır.

Amaç

5G'nin gelişi, medya ve eğlence endüstrisine hizmet etmek veya zorlu gereksinimlerin üstesinden gelmek için yeni çözümlerin ve araçların araştırılmasını ve geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bu tezde, ultra yüksek çözünürlüklü medya içeriklerini dağıtmak için 5G ağlarının uygulamalarına yönelik senaryolara ve gereksinimlere odaklanılacaktır. Yayınlarda, düşük gecikmeli ve yüksek bant genişlikli medya akışı için 5G ağları üzerinden mobil katkı, uzaktan ve akıllı prodüksiyon uygulayarak geleneksel yayın prodüksiyonlarında bugün ortaya çıkan sınırlamaların üstesinden gelmek amaçlanmaktadır.

Önem

Televizyon ve internet yayıncılığı sürekli gelişmektedir. Ultra yüksek 4K ve 8K çözünürlükler daha yaygın hale gelmekte ve insanlar artık içerikleri istedikleri zaman, nerede olurlarsa olsunlar bir dizi farklı platformda izleyebilmeyi tercih etmektedirler. Bu hizmetlere erişmek için kullandığımız cihazlar giderek artan bir şekilde geleneksel yayın ve çevrimiçi akışı sorunsuz bir şekilde entegre etmektedir. Ayrıca, dış yayınları iletmek için 5G'nin yeteneklerinden de yararlanılmaya başlanmıştır. Yeni dağıtım ve yapım teknolojileri, izleyicilerin ve dinleyicilerin ses dengesini, gördükleri grafikleri ve gördükleri kamera açılarını seçmelerine olanak tanıyacaktır.

Son yıllarda yılda dijital video teknolojilerinin hızlı gelişimi, eğitim, tıp ve iletişim dahil olmak üzere günlük hayatımızda önemli olan birçok alanı etkilemiştir. Dijital video teknolojilerindeki çoğu alan, endüstri ve bilimsel araştırma alanınlarında da önemli bir paya sahiptir. Bu gelişmedeki etkileri nedeniyle video sıkıştırma teknolojileri ve video iletiminin teşvik edilmesi önem kazanmaktadır.

Ek olarak, diğer 5G gereksinimlerinin de ele alınmasıyla yeni sanallaştırma, bulut bilişim ve yazılım teknolojilerinin -örneğin, yazılım tanımlı ağ oluşturma (SDN) ve ağ işlev sanallaştırması (NFV)-, görüntü teknolojileri kullanımında sermaye ve operasyonel harcamaları azaltması beklenmektedir.

Sınırlılıklar

Yayıncılıkta görüntü teknolojilerinin oldukça teknik ve geniş bir alan olduğu bilinmekte olup bu tez çalışmasında özellikle görüntü kalitesi ve sıkıştırma teknolojileri üzerinde durulmuştur. Görüntü teknolojilerinin yeni nesil ağlarla kullanımı incelenmiş olup 5G ağları ile yapılan çalışmaların oldukça güncel olması ve her geçen gün gelişmesiyle birlikte kaynaklarda bazı sınırlılıklar oluşmuş olup olabildiğince günümüz trendi teknolojiler üzerinde durulmuştur.

Tanımlar

Bu tez çalışmasında görüntü teknolojileri çerçevesinde yayıncılıkta görüntünün iletimi, işlenmesi ve sıkıştırılması ile birlikte bu işlemler sırasında oluşabilecek bozulmalar ele alınmış, yeni nesil ağlarla birlikte video kalitesinin sağlanması araştırılmıştır. Sözü edilen video kalitesi olarak algılanan şeye çok sayıda faktör katkıda bulunur. Bunlar, bireysel ilgileri, kalite beklentilerini, görüntüleme tipini, görüntüleme özelliklerini ve görüntüleme koşullarını içermektedir. Bu faktörlerin bazılarının geniş çeşitliliği ve öznelliği, kalite ölçüm probleminin karmaşıklığının göstergeleridir.

Yöntem

Bu tez çalışmasında en uygun ve ekonomik model olarak nitel araştırma yöntemleri kullanılmış olup bu yöntem sonucunda incelenen farklı türdeki dokümanlardan konu çerçevesinde bilgiler edinilmiş ve yorumlamalar yapılarak konu bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Kaynaklar üzerinde yapılan araştırma ve inceleme sürecinin ardından tezin akışı ve başlık düzeni şekillendirilmiştir.

Verilerin Toplanması

Bu çalışma kapsamında “Kaynak Tarama Yöntemi” kullanılmıştır. Görüntü teknolojileri, video sıkıştırma ve mobil haberleşme sistemleri alanlarında kaleme alınmış

kitap, dergi, makale, teknik rapor, güncel haber, yüksek lisans ve doktora tezleri dokümanlarından bilgi ve verilere ulaşılmış, toplanan veriler derlenerek analiz ve yorumlamalarla çeşitli değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bununla beraber; EBU, DVB, OFCOM ve BBC gibi uluslararası kuruluşların ve Qualcomm, Cisco ve Ericsson gibi şirketlerin bünyesinde hazırlanan teknik raporlar ve araştırmalar incelenerek teze sunabileceği katkılar değerlendirilmiştir.

Verilerin Çözümlenmesi

Kaynak çeşitliliği ve güvenilirliği ön planda tutularak elde edilen veri ve dokümanların detaylı bir şekilde okunup incelenmesi sonucunda içeriksel analiz yapılmış ve tezin genel akışı belirlenmiş, sonrasında tezin ilgili bölümlerine eklenerek konu detaylıca ele alınmıştır.

BÖLÜM 1

TELEVİZYON YAYINCILIĞIN GELİŞİMİ VE TARİHÇESİ

İnsan, çağlar boyunca resimleri uzak mesafelere iletme olasılığının hayalini kurmuştur. Bu rüyayı pratik gerçeğe dönüştürmek ancak elektrona hakim olmakla mümkün olabilmiştir. Televizyonun icadıyla birlikte geniş kitleleri etkileyebilen bir güç ortaya çıkmıştır. Televizyon, kavramları, konuları ve deneysel çalışmaları farklı bakış açılarından öğrenenleri anlamada karmaşık ve zor bir süreç sunma becerisini göstermiştir.

Bu bölümde, dünya televizyon yayıncılık tarihi hakkında genel bir bilgi verilerek ve farklı ortamlardan yapılan yayınların çeşitli aşamaları, kavramları ve konuları ele alınacaktır.

1.1. Televizyon Yayıncılığının Gelişim Süreci

Televizyon için övgüyü tek bir mucit hak etmez. Bu fikir, teknolojinin ilerlemesinden çok önce ortalıkta dolaşıyordu ve birçok bilim insanı ve mühendis, bugün televizyon olarak bildiğimiz şeyi üretmek için birbirlerini temel alan katkılarda bulunmuşlardır.

Elektrikli televizyonlardan önce ilk olarak mekanik televizyonlar vardı. Bu televizyonlar 1800'lerin başında görünmeye başladı. Görüntüleri mekanik olarak taramayı ve ardından bu görüntüleri bir ekrana aktarmayı içeriyorlardı. Elektronik televizyonlarla karşılaştırıldığında, son derece ilkeldiler.

1873 yılında İrlanda'da genç bir telgraf operatörü Joseph May, fotoelektrik etkiyi keşfetmiştir. Güneş ışığına maruz kalan selenyum çubuklar dirençte bir değişiklik göstermiştir. Işık yoğunluğundaki değişikliklerin bu nedenle elektrik sinyallerine dönüştürülebileceği, bununla da buluşabilecekleri anlamına gelir. 1875'te ise George Carey, görüntüdeki her noktanın aynı anda keşfedilmesine dayanan bir sistem önermiştir: çok sayıda fotoelektrik hücre, görüntüye bakacak şekilde bir panel üzerine yerleştirilmiş ve aynı sayıda ampulü taşıyan bir panele bağlanmıştır. Ancak bütün makul kalite kriterlerine göre, bu sistem uygulanamazdı. Hatta o dönemin sinema filmlerinin kalitesine uyması için

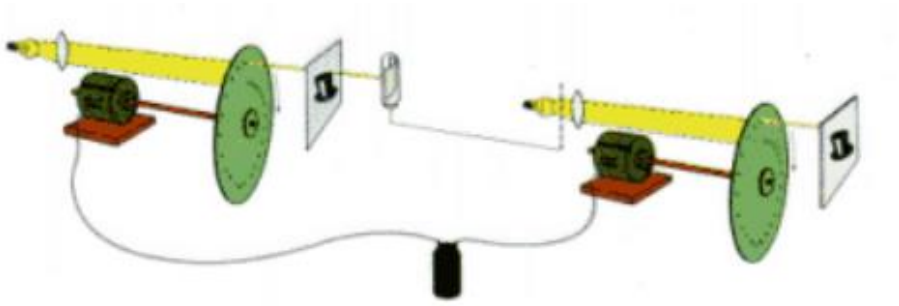
devrenin bir ucundan diğer ucuna binlerce paralel kablo gerektiği görülmüştür (Korkut, 2022, s. 473).

1881'de Fransa'da Constantin Senlecq, benzer bir fikri geliştirilmiş bir biçimde detaylandıran bir taslak yayınlamıştır. Hücre panelleri ve lambalar arasında iki döner anahtar önerilmiş ve bunlar aynı hızda döndüklerinden her bir hücreyi sırayla birbirine bağlamışlardır. Bu sistem ile tüm noktalar tek bir tel üzerinden arka arkaya gönderilebilmektedir. Modern televizyonun temeli budur, resim bir dizi resim öğesine dönüştürülür. Bununla birlikte, Carey tarafından önerilen gibi Senlecq'in sistemi, çok sayıda hücre ve lambaya ihtiyaç duymuştur (Peters, 2000, s. 3).

1884'te Alman Paul Nipkow, başka bir görüntü tarama sistemini kapsayan bir patent başvurusunda bulunmuştur. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi spiral şeklinde düzenlenmiş, her biri görüntünün genişliği kadar aralıklı bir dizi deliğe sahip dönen bir disk kullanmayı; deliklerden parlayan bir ışık huzmesi görüntünün her çizgisini aydınlatmayı amaçlamıştır. Yoğunluğu resim elemanına bağlı olan ışık demeti, hücre tarafından bir elektrik sinyaline dönüştürülmüştür. Alıcı uçta, alınan sinyale göre parlaklığı değişen bir lambanın önünde aynı hızda dönen özdeş bir disk vardır (Korkut, 2022, s. 474).

Şekil 1.1

Nipkow'un Sistemi. The History of Television. Peters, 2000, s.4



Diskler tam olarak döndürüldükten sonra tüm resim taranmıştır. Diskler yeterince hızlı dönüyorsa, diğer bir deyişle, ardışık ışık uyaranları birbiri ardına yeterince hızlı geliyorsa, göz artık onları ayrı resim öğeleri olarak algılamaz. Bunun yerine, tüm resim sanki tek bir birimmiş gibi görülmüştür. Fikir basitti, ancak o sırada mevcut olan malzemelerle

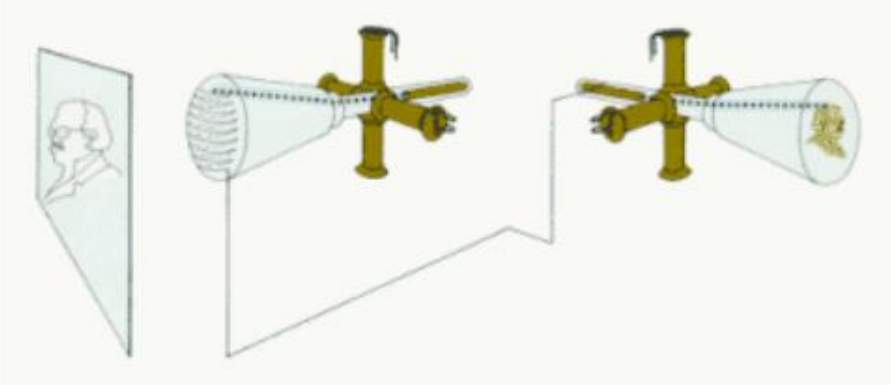
uygulamaya konulamamıştır (Peter, 2000, s. 4). İlk mekanik televizyonu geliştirmiş olan Nipkow, cihaza televizyon demek yerine ona “elektrikli teleskop” adını vermiştir. Cihaz 18 satır çözünürlüğe sahiptir. (Hur, n.d.)

Floresanlı katot ışın tüpü 1897'de icat edilmiştir. Strasbourg Üniversitesi'nden Karl Ferdinand Braun, elektron ışınını yatay ve dikey olarak hareket ettirmek için tüpün boynuna iki elektromıknatıs yerleştirme fikrini ortaya atmıştır. Floresan ekranda elektron ışınının hareketi, ekranda görünen çizgileri izleme etkisine sahiptir. Rus bilim adamı Boris Rosing, bunun bir alıcı ekran olarak kullanılabileceğini öne sürmüştür ve 1907'de Saint Petersburg'daki laboratuvarında deneyler yapmıştır. İki mucit - Rus Boris Rosing ve İngiliz A.A. Campbell-Swinton tamamen yeni bir televizyon sistemi oluşturmak için bir katot ışın tüpünü mekanik bir tarama sistemi ile birleştirmiştir. Nihayetinde, bu mucitlerin erken çabaları, birkaç yıl sonra dünyanın ilk elektrikli televizyonuna yol açmıştır (Hur, n.d.).

1908’de, İskoç A. A. Campbell Swinton, Şekil 1.2’de görüldüğü üzere hem gönderim hem de alım uçlarında katot ışın tüpleri kullanan bir sistemin ana hatlarını çizmiştir. Bu ilk tamamen elektronik çalışma olmuştur. 1911'de ise bunun bir açıklamasını yayınlamıştır. Buna göre görüntü, tüplerden birine sabitlenmiş bir fotoelektrik mozaiğin üzerine atılır, bir elektron demeti daha sonra onu tarar ve elektrik sinyalini üretir. Alıcı uçta bu elektrik sinyali, floresan ekranı tarayan başka bir elektron demetinin yoğunluğunu kontrol eder (Herbert, 2004, s. 52).

Şekil 1.2

Campbell Swinton’ın Çalışması. The History of Television. Peters, 2000, s.6



Nipkow ve Campbell Swinton tarafından önerilen yöntemler o zamanlar sadece teorik fikirlerdir. Mevcut hücreler yeterince hassas değildi ve ışık yoğunluğundaki değişikliklere çok yavaş tepki veriyorlardı. Sinyaller çok zayıftır ve amplifikatörler henüz icat edilmemiştir.

Bilim ilerledikçe selenyum hücresinden çok daha hızlı tepki veren potasyum hücresi ortaya çıkmıştır. Ardından yaklaşık 1915'ten itibaren büyük miktarlarda üretilen ve gelişimi "kablosuz"a çok şey borçlu olan üç elektrotlu triyot gelmiştir. Ayrıca ışık yoğunluğu hızla değiştirilebilen ve disk alıcılarında kullanıma uygun neon lamba da vardır (Peters, 2000, s. 7).

İlk mekanik televizyonlardan biri, spiral bir düzende düzenlenmiş deliklere sahip dönen bir disk kullanmıştır. Bu cihaz iki mucit tarafından bağımsız olarak oluşturulmuştur: İskoç mucit John Logie Baird ve Amerikalı mucit Charles Francis Jenkins. Her iki cihaz da 1920'lerin başında icat edilmiştir. 1925'te İskoçya'dan bir elektrik mühendisi olan John Logie Baird, Londra'daki Selfridges mağazasında, uzaktan basit bir görüntüyü, aslında siyah bir arka plan üzerinde beyaz harfleri yeniden ürettiği bir aparat sergilemiştir. Gerçekte televizyon değildi, çünkü görüntüyü iletmeye ve onu yeniden üretmeye yarayan iki disk aynı şaft üzerine monte edilmiştir. Ancak Baird, ardışık tarama ilkesinin pratikte uygulanabileceğini etkili bir şekilde göstermiştir. Bunu 1926'da laboratuvarında, bir kişinin kafasından gerçek bir sahnenin ilk aktarımıyla tekrar yaptı. Resim, her saniyede 5 tam resim ile 30 satırda taranmıştır (Burns, 2000, s. 167).

Şekil 1.3

John Logie Baird ve İcadı. The Stanley Weston Archive, Getty Images



Benzer makineler Almanya'da da yapılmıştır. Daha küçük bir mekanik aparat, 1928'de Berlin Radyo Şovunda Denes von Mihaly tarafından sunulmuştur. Adı "Telehor" olarak adlandırılmıştır. Burada da resim 30 satırla ama 10 kare/saniye resim hızında taranmıştır. Fransa'da bir süre sonra "Yarı Görevli" ortaya çıktı, 30 satırlık tarama kullanmış ve René Bartholemy tarafından yapılmıştır (Shiers, 2014, s. 201).

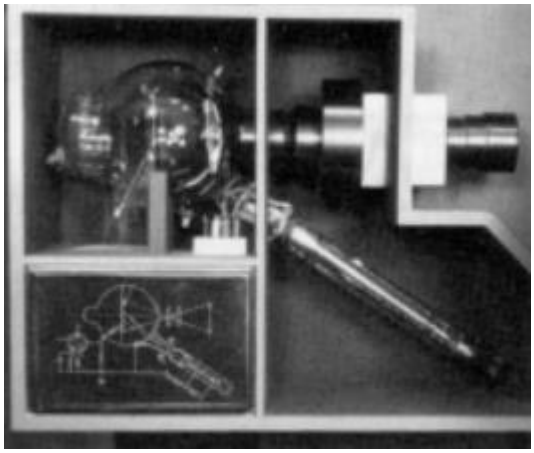
Bu yayınlar, kendi disk alıcılarını yapan birçok amatör meraklının dikkatini çekmiştir. Kamuoyu, devam etmekte olan araştırmadan yavaş yavaş haberdar olmuştur. Üreticiler, laboratuvarlarında sistematik çalışmalar düzenleyerek yeni serüvene katılmıştır. Almanya'da (1929) "Fernseh" gibi yeni şirketler doğmuştur (Peters, 2000, s. 7).

Almanya'da, Manfred von Ardenne ilk "uçan nokta" katot ışın tüpünü inşa etmiş ve böylece saydamlığın taranmasını sağlamıştır. 1931 Berlin Radyo Şovunda eksiksiz bir iletim sistemi sunulmuştur. Bu tarama yöntemi daha sonra tüm televizyon filmleri için kullanılmıştır. Işık demeti karanlık bir ortamda çalışmak zorunda olduğu için süreç yine de gerçek sahnelere uygulandığında çok büyük sorunlar ortaya çıkarmıştır. Örneğin dış mekan sahneleri tamamen imkansızdır. "Ara film" sistemi olarak bilinen başka bir süreç, birkaç yıl boyunca bu soruna dolambaçlı bir çözüm sağlamıştır. Sahneler filme çekilmiş ve bu hemen geliştirilmiş, sonrasında bir disk veya uçan nokta tarayıcı tarafından taranmıştır (Peters, 2000, s. 9).

Açık havada çekim yapma sorununun çözümü Atlantik'in ötesinden gelmiştir. 1923'te sahip olduğu bir fikrin ardından, Vladimir Zworykin (Rosing'in Amerika Birleşik Devletleri'ne göç etmiş yardımcılarından biri) "İkonoskop"u icat etmiştir. Bu, küre şeklinde bir katot ışını tüpüdür ve bir mika tabakasının her iki tarafına uygulanan metal parçacıklardan yapılmış ilk fotoelektrik mozaiği içermektedir. Bu ilk kamera tüpü diskten daha kompakt, kullanımı daha kolay ve daha hassastır. Mozaiğin öğelerini önemli bir hızla ziyaret eden elektron ışını, orada biriken tüm fotoelektrik yükü her noktadan toplarken, mekanik sistemlerde fotoelektrik hücre sadece her bir noktadan ışığı alır. Zworykin'in ilk prototip ikonoskopu 1929'da New York'ta bir mühendisler toplantısında sunulmuştur. Cihaz, 1933'te RCA tarafından inşa edilmiş ve görüntüyü 120 satırda, 24 kare/saniye hızında taramıştır (Korkut, 2022, s. 477).

Şekil 1.4

İlk İkonoskop. The History of Television. Petesr, 2000, s.10



Dünyanın ilk elektronik televizyonu, Philo Taylor Farnsworth adlı 21 yaşındaki bir mucit tarafından geliştirilmiştir. Bu mucit, 14 yaşına kadar elektriksiz bir evde yaşamış, liseden başlayarak, hareketli görüntüleri yakalayan, bu görüntüleri koda dönüştüren ve sonra bu görüntüleri radyo dalgalarıyla farklı cihazlara taşıyabilen bir sistem düşünmeye başlamıştır. Farnsworth, o zamana kadar icat edilen herhangi bir mekanik televizyon sisteminin kilometrelerce ötesindeydi. Farnsworth'un sistemi, bir elektron demeti (temelde ilkel bir kamera) kullanarak hareketli görüntüleri yakalamıştır. Televizyon tarafından iletilen ilk görüntü basit bir çizgidir. Daha sonra, Farnsworth, muhtemel bir yatırımcının "Bu şeyde ne zaman biraz dolar göreceğiz Farnsworth?" diye sormasının ardından televizyonunu kullanarak ünlü bir dolar işareti iletmeyi başarmıştır (Peters, 2000, s. 10).

1926 ve 1931 arasında, mekanik televizyon mucitleri, geliştirdiklerini değiştirmeye ve test etmeye devam etmiştir. Ancak, modern elektrikli televizyonlarla karşılaştırıldığında bunların modası geçmeye mahkum edilmiştir. Katot ışın tüplü alıcılar 1933'te piyasaya çıkmıştır. 1934'te tüm televizyonlar elektronik sisteme dönüştürülmüştür. Tüm televizyon sistemleri görüntüleri siyah beyaz olarak iletmiştir (Peters, 2000, s. 10).

Diğer bilimsel gelişmeler bu çalışmalara bir alternatif sunacaktır. Anahtar nokta, 19. yüzyılın sonunda fizik biliminde devrim yaratan küçücük negatif elektrik tanesi olan elektrondur. Elektron ışınlarının aşırı darlığı ve eylemsizliklerinin olmaması, birçok araştırmacının hayal gücünü yakalamış ve çalışmalarını zamanla elektronik olarak bilinen

şeye yöneltmiştir. Yine de mekanik yaklaşım yerini korumuş ve rekabet 1937'ye kadar sürmüştür (Peters, 2000, s. 4).

1.1.1.Mekanik Televizyonlar

Mekanik televizyonlar, görüntüleri bir vericiden alıcıya iletmek için dönen disklere güvenmiştir. Hem verici hem de alıcı dönen disklere sahiptir. Disklerin içlerinde diskin etrafında aralıklı delikler vardır ve her bir delik diğerinden biraz daha aşağıdadır. Görüntüleri iletmek için, tamamen karanlık bir odaya bir kamera yerleştirmek ve ardından diskin arkasına çok parlak bir ışık yerleştirmek gerekiyordu. Bu disk, TV görüntüsünün her karesi için bir devrim yapmak üzere bir motor tarafından döndürülecektir (Fischer, 2010, s. 10).

1929'da Baird ilk mekanik televizyonu ile BBC'yi saniyede 12,5 kare veren 30 satırlık bir sistem kullanarak normal radyo programı saatleri dışında televizyon yayını yapması gerektiğine ikna etmiştir. "Televizyonlar" olarak bilinen ilk disk alıcılarını pazarlamıştır. Taramayı 60, 90, 120 ve hatta 180 satıra çıkararak donanımını istikrarlı bir şekilde geliştirmiştir. Işığı nesneye odaklamak için diskin önünde bir mercek vardır. Işık özneye çarptığında, bu ışık bir fotoelektrik hücreye yansıtılacak ve bu ışık enerjisini elektriksel darbelere dönüştürecektir. Elektrik darbeleri hava üzerinden bir alıcıya iletilir. Bu alıcıdaki disk, vericinin kamerasındaki diskle tam olarak aynı hızda dönecektir (kesin iletimi sağlamak için motorlar senkronize edilecektir). Alıcı uçta, yayınları alan ve bunları diskin arkasına yerleştirilmiş bir neon lambaya bağlayan bir radyo alıcısı vardır. Lamba, alıcıdan aldığı elektrik sinyaliyle orantılı olarak ışığı söndürürken disk dönecektir. Sonuç olarak, bu sistem, bir büyüteç kullanmanıza rağmen, görüntüyü diskin diğer tarafında görmenize izin verir (Fischer, 2010, s. 10).

1.1.2.Elektronik Televizyonlar

Mekanik televizyonları kullanmayı bırakmamızın tek nedeni vardır: elektronik televizyonlar çok daha üstündür. Elektronik televizyonlar, iki veya daha fazla anotun yanı sıra katot ışın tüpü (CRT) teknolojisine dayanır. Anotlar pozitif terminallerdir ve katot negatif terminaldir. Katot ışın tüpünün "katot" kısmı, bir cam tüp (CRT'nin "T"si) içine

alınmış ısıtılmış bir filamandır. Katot, tüpün boş alanına (aslında bir vakum olan) bir elektronik ışını bırakacaktır. Serbest bırakılan bu elektronların tümü negatif bir yüke sahiptir ve bu nedenle pozitif yüklü anotlara çekilecektir. Bu anotlar, televizyon ekranı olan CRT'nin sonunda bulunmuştur. Elektronlar bir uçta serbest bırakılırken, diğer uçta televizyon ekranında görüntülenirler (Fischer, 2010, s. 10).

Tabii ki, elektronları bir cam ekrana ateşlemek görüntü oluşturmaz. Görüntü yapmak için televizyon ekranının içi fosforla kaplanacaktır. Elektronlar, ekranda her seferinde bir satır bir görüntü çizer. Elektronların ateşlenmesini kontrol etmek için CRT'ler iki yönlendirme bobini kullanır. Her iki yönlendirme bobini de elektron ışınını ekranda istenen konuma itmek için mıknatısların gücünü kullanır. Bir yönlendirme bobini elektronları yukarı veya aşağı iterken, diğeri onları sola veya sağa iter (Fischer, 2010, s. 10).

1.1.3. Renkli Televizyon

Televizyon çağının başlangıcında siyah/beyaz görüntü yeterliydi. Ama tıpkı sinemada olduğu gibi televizyon da siyah/beyazdan renkliye geçişi izleyicisi istediği için başarmıştır. Renk eklendiğinde, insan gözünün anatomisi hakkındaki bilgiler dikkate alınmıştır. Sadece yaklaşık 1,3 MHz ile renk, yaklaşık 5 MHz ile iletilen parlaklıktan çok daha az çözünürlüğe, yani bant genişliğine[1] izin verilmiştir (Fischer, 2010, s. 15).

Rengin yeniden üretilmesine izin veren fiziksel kavrama metameriz denir. Herhangi bir rengin insan gözü üzerindeki etkisi, birincil olarak bilinen diğer üç rengin etkilerinin birleştirilmesiyle yeniden üretilebilir. Üç basit renk, diğer ikisinin bir kombinasyonu ile elde edilemezse, birincilleri oluşturabilir. Uygulamada kırmızı, yeşil ve mavi renk kullanılmaktadır, çünkü bu üçlü en geniş doğal renk yelpazesiyle eşleşebilir. Başka bir deyişle, kırmızı, yeşil ve mavi oranlarını belirterek herhangi bir rengi tanımlayabiliriz (Fischer, 2010, s. 15).

Fiziksel terimlerle, bir renk, farklı dalga boylarındaki bir dizi elektromanyetik radyasyona karşılık gelir. Birincil olarak, tek bir dalga boyundaki (tek renkli) radyasyonları veya birkaç farklı dalga boyundaki (çok renkli) gruplar seçebilir. Modern televizyon setlerinde kullanılan birinciller tek renkliye yakın özellik gösterir. Televizyonda kullanılan

[1]Bant genişliği: Saniyedeki bit sayısı veya katları olarak ifade edilen kullanılabilir bit hızı veya tüketilen veri iletişim kaynaklarının bir ölçümünü gösterir. İki sayı arasındaki fark normalde bant genişliği ile gösterilir.

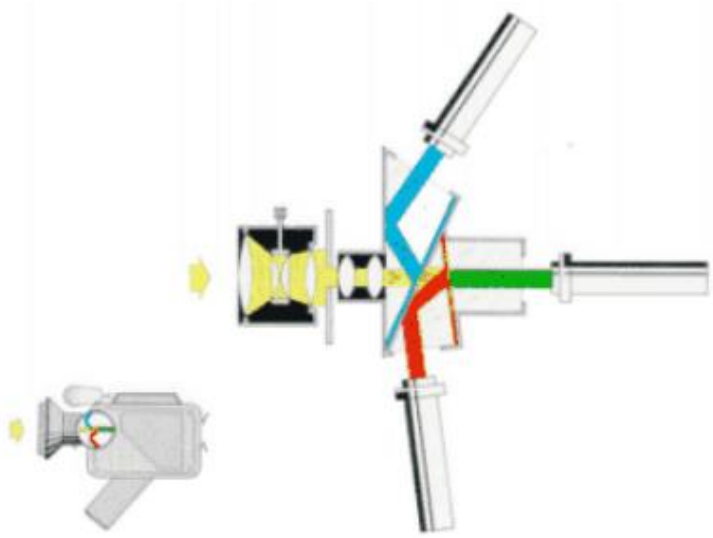
birinciller, yeniden üretilecek renk aralığı ile mevcut malzemelerle üretilebilecekler arasındaki bir uzlaşmanın sonucudur (Peters, 2000, s. 14).

Rengin üçlü doğası, insan fizyolojisinin özelliğinden kaynaklanmaktadır, çünkü renk görüşü ışığın gözün retinası tarafından üç farklı ışığa duyarlı pigment tarafından emilmesine bağlıdır. Üç rengin bir araya getirildiğinde dördüncüye eşit olabileceğini gösteren pratik deneyim, bu ilkenin renk üretimi için temel teşkil edebileceğini göstermektedir. Deneyimler ayrıca, üç ana öğe arasındaki farklar ne kadar büyük olursa, yeniden üretilebilecek renk çeşitliliğinin de o kadar büyük olacağını gösterir (Peters, 2000, s. 15).

Karşılık gelen elektrik sinyallerini mümkün olan en iyi şekilde iletmek için, bunların üç farklı sinyal verecek şekilde birleştirilmesi istenir. Biri resim parlaklık değerlerini temsil eder ve diğer ikisi birlikte alındığında resmin tamamen kromatik değerlerini temsil eder. Kamerada renk, prizmalar aracılığıyla primerlerine ayrıştırılır. Her primer ayrı bir tüpü aydınlatır ve bu nedenle kendi sinyalini üretir (Petesr, 2000, s. 15).

Şekil 1.5

Renklerin Kamerada Kullanımı. The History of Television. Peters, 2000, s.16

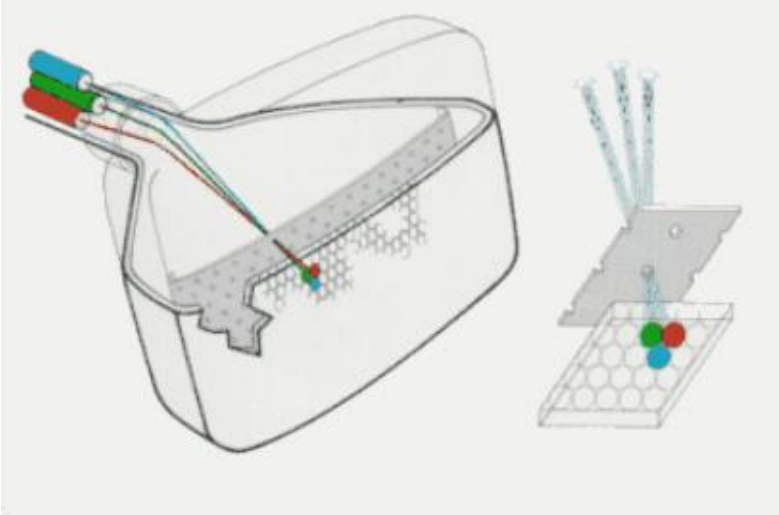


Alıcılarda renk, kırmızı-yeşil-mavi üçlüler halinde düzenlenmiş çok sayıda ışıldayan nokta kullanılarak yeniden oluşturulur. Noktalar, makul bir görüş mesafesinden, tek bir bilgi kaynağı olarak bir üçlü görünecek şekilde yeterince yakındır. Başka bir deyişle, göz her

üçlüyü bir resim öğesi olarak görür. Televizyon birincilleri ile birlikte fark edilebilir renklerin sayısı on bin civarındadır. Kırmızı, yeşil ve mavi birinciller yalnızca kamera ve alıcıda kullanılır (Peters, 2000, s. 16).

Şekil 1.6

Renklerin Alıcıda Görünümü. The History of Television. Peters, 2000, s.16



Renkli Televizyonda İletim

Renkli televizyonun ilk pratik gösterimi 1928'de Baird tarafından yapılmıştır: Her biri birincil için bir tane olmak üzere üç spirale sahip bir Nipkow diski ile mekanik tarama kullanmıştır. Her spirale ayrı bir renk filtresi seti verilmiştir. 1929 yılında H.E. Ives ve Bell Telefon Laboratuarlarındaki çalışma arkadaşları, deliklerden üç renkli kaynaktan gelen ışığın geçtiği tek bir spiral kullanan bir sistem sundular; her bir birincil için sinyal daha sonra ayrı bir devre üzerinden gönderilmiştir (Korkut, 2022, s. 479).

1940 yaklaşırken, en azından alınan resmi görüntülemek için sadece katot ışını tüpleri öngörülmüştür. 1938'de Fransa'da Georges Valensi ikili uyumluluk ilkesini önermiştir:

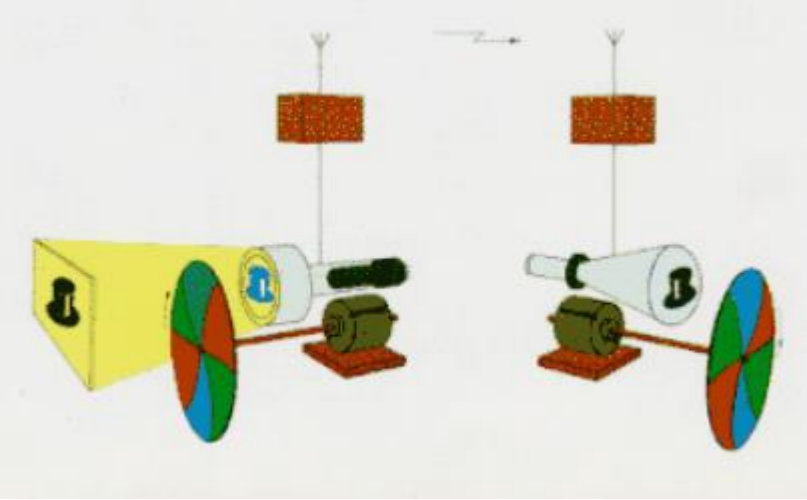
- Renkli olarak iletilen programlar, siyah beyaz alıcılar tarafından da alınmalıdır.

- Siyah beyaz olarak iletilen programlar, renkli alıcılar tarafından da siyah beyaz olarak görülmelidir.

1940 yılında, CBS ve Amerika Birleşik Devletleri'nden Peter Goldmark, taramadan önce ışık yoluna yerleştirilmiş üç renk filtresi kullanılarak elde edilen üç primerin iletilmesi için Şekil 1.7'de görülen sıralı bir sistem göstermiştir (Korkut, 2022, s. 479).

Şekil 1.7

Peter Goldmark'ın Kullandığı Sistem. The History of Television. Peters, 2000, s.17

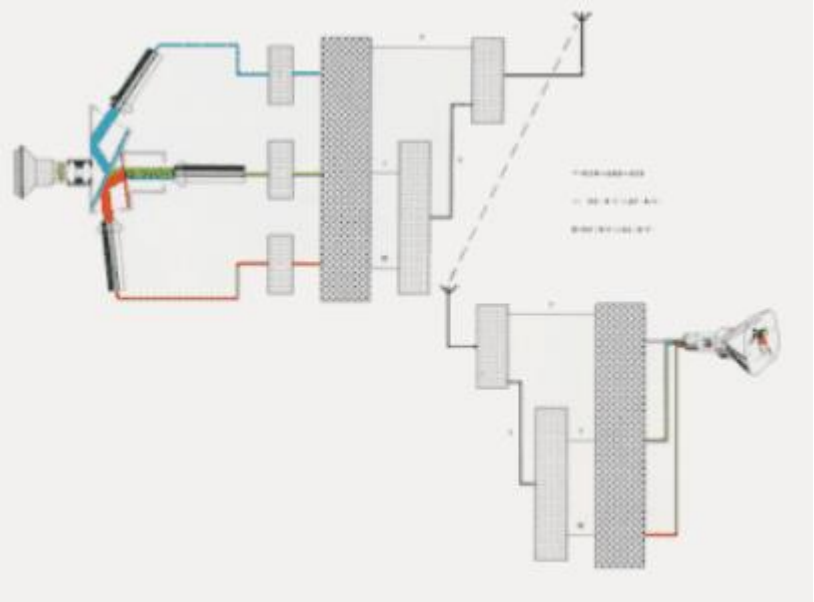


Sistemin uygulanabilirliği çok zordur. Ek olarak, siyah beyaz iletimle karşılaştırıldığında üç kat daha geniş bir frekans aralığı (yani bant genişliği) gerektirmektedir. Diğer araştırmacılar, bu kadar büyük bir bant genişliği gerektirmeyen mekanik olmayan bir çözüm arıyorlardı.

1953'te, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki RCA ve Hazeltine laboratuvarlarında yapılan eşzamanlı araştırmalar, ilk uyumlu sistemin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu, endüstride çalışan televizyon uzmanlarından oluşan Ulusal Televizyon Sistemi Komitesi tarafından standartlaştırılmıştır ve Ulusal Televizyon Sistemleri Komitesi (NTSC) sistemi olarak bilinir (Tooms, 2016, s. 308).

Şekil 1.8

NTSC Sistemi. The History of Television. Peters, 2000, s.18



Sinyal artık üç primer şeklinde değil, bu primerlerin bir kombinasyonu olarak iletilir. Bu, siyah beyaz alıcılar tarafından kullanılabilen bir "parlaklık" sinyali Y sağlar. Renk bilgisi, tek bir "krominans" sinyali C oluşturmak için birleştirilir. Y ve C sinyalleri, iletim için bir araya getirilir.

İletilen sinyaldeki krominans ve parlaklık bilgilerinin izolasyonu da bant genişliği tasarrufu yapılmasına olanak tanır. Gerçekte, krominans bilgisinin bant genişliği, parlaklık için olduğundan çok daha küçük yapılabilir, çünkü insan gözünün keskinliği, renk değişiklikleri için parlaklık değişikliklerinden daha düşüktür (Peters, 2000, s. 18).

1.1.4. Televizyon Yayıncılığının Başlaması

Mart 1935'te Berlin'de bir televizyon hizmeti başlatılmıştır (180 satır/kare, 25 kare/saniye). Resimler film üzerine çekilmiş ve daha sonra dönen bir disk kullanılarak taranmıştır. Şekil 1.9'da görülen elektronik kameralar, Berlin Olimpiyat Oyunları zamanında 1936'da geliştirilmiştir (Korkut, 2022, s. 477).

Şekil 1.9

1936 Berlin Olimpiyatlarında Kullanılan İlk İkonoskop Kamera. The History of Television. Peters, 2000, s.11



1935'te Paris'te televizyon yayıncılığı, yine resim analizi için mekanik bir sistem kullanılarak başlamıştır (180 satır/kare, 25 kare/saniye). Aynı yıl, İngiltere'deki EMI şirketi 405 satırlık tanımlı, 25 kare/saniye ve geçmeli tam elektronik bir televizyon sistemi geliştirmiştir. Marconi Şirketi, vericilerin geliştirilmesi konusunda gerekli desteği sağlamıştır. İngiliz hükümeti, Kasım 1936'da Britanya Yayın Kuruluşu (BBC) tarafından Londra'da başlatılan televizyon hizmeti için Baird'inkiyle birlikte bu standardın kullanılmasına izin vermiştir (Baird sistemi mekanik tarama, 240 satır, 25 kare/saniye ve taramasız). İki sistem, dönüşümlü haftalarda sırayla kullanılmıştır. 240 satırlık mekanik tarama sistemi, ekipmanın sınırlarını zorlamıştır ve zayıf hassasiyetten muzdariptir. Böylece denge, nihayet Şubat 1937'de İngiltere'de kabul edilen tamamen elektronik 405 hatlı sistem lehine dönmüştür. Aynı yıl, Fransa 455 hatlı tamamen elektronik bir sistem tanıtmıştır (Peters, 2000, s. 12).

Almanya 441 satır ile aynı yolu izlemiş ve bu standart İtalya tarafından da benimsenmiştir. İkonoskop mükemmel çalışıyordu. Dış mekan çekimlerine izin verecek kadar hassastır. Berlin ve Leipzig halkı Berlin Olimpiyat Oyunlarından resimleri en az 2,2 metre uzunluğunda bir canavar olan televizyon kanonu (aslında Telefunken tarafından

yapılmış bir ikonoskop kamerası) sayesinde görebildiler. Bu amaçla Fernsehstuben olarak bilinen seyir odaları inşa edilmiştir. Bu ekipman, 1937'de Kral VI. George'un taç giyme töreni için İngiliz Yayıncılık Birliği (BBC) tarafından kullanılmış ve halkın ilgisi uyandırılmıştır. 1937'den 1939'a kadar Londra'daki alıcı satışları 2000'den 20000'e yükselmiştir (Peters, 2000, s. 13).

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki araştırmalar (Zworykin ve RCA şirketi) yaklaşık olarak aynı zamanda meyve vermiştir. İlk kamu televizyon hizmeti, 1939'da New York'ta, saniyede 30 kare hızında çalışan 340 hatlı bir sistemle açılmıştır. İki yıl sonra, Amerika Birleşik Devletleri 525 satırlık 60 kare/saniye standardını benimsemiştir. 1940'a gelindiğinde, Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanımda olan sadece birkaç yüz televizyon vardır. Radyo hala yayınlarda hakimken (o zamanlar Amerikan evlerinin yüzde 80'inden fazlası bir radyoya sahiptir) televizyon kullanımı on yıl boyunca yavaş yavaş artmış ve 1940'ların ortalarında Amerika Birleşik Devletleri'nde 23 televizyon istasyonu vardır. İlk vericiler başkentlerde (Londra, Paris, Berlin, Roma, New York) kurulmuş ve bu nedenle her ülkenin nüfusunun sadece küçük bir kısmı faydalanabilmiştir. Diğer bölgeleri kapsayacak şekilde planlar yapılmıştır (Peters, 2000, s. 13).

Savaş, Avrupa'da televizyonun yayılmasını durdurmuştur. Ancak savaş sırasında elektronik sistemler üzerine yapılan yoğun araştırmalar ve verdiği pratik deneyim, televizyon teknolojisinin gelişmesine yol açmıştır. Radar ekranlarında çalışmak, örneğin, katot ışınlı tüp tasarımından yararlanmıştır; daha yüksek frekanslarda çalışabilen devreler geliştirilmiştir. Savaş bittiğinde, daha önce belirlenen ulusal standartlarda yayınlar yeniden başlamıştır: İngiltere'de 405 hat, Almanya ve İtalya'da 441 hat, Fransa'da 455 hat. Araştırma, daha yüksek resim tanımının avantajlarını göstermiş ve 1000'den fazla satıra sahip sistemler araştırılmıştır. 819-hat standardı ilk kez Fransa'da ortaya çıkmıştır (Korkut, 2022, s. 478).

1950'ler ve 2000'ler arasında televizyon, ulaşılması zor bir teknolojiden ülke genelinde oturma odalarında bulunan kritik bir iletişim biçimine dönüşmüştür. 20. yüzyılın ikinci yarısında televizyonu bugünkü haline getirmek için çok sayıda değişiklik ve iyileştirme yapılmıştır. 2010'lara kadar televizyon yayıncılığında yaşanan bazı gelişmeler kısaca özetlenmiştir:

1929: Baird Televizyonu, ticari olarak satılan ilk televizyon olmuştur.

Şekil 1.10

*The Baird Televizyonu.*Science & Society Picture Library, Getty Images



1930: Bu yıllarda Marconi 702 sadece zenginlerin karşılayabileceği lüks bir eşyadır. Master's Voice ise hem radyo hem de televizyonu bir araya getirmiştir.

1941: İlk televizyon reklamcılığı yapılmıştır.

1949: Ocak ayında televizyon kanallarının sayısı 58'e, pazar bölgesinde 98'e yükselmiştir. Yine 1940'larda ABD'de NBC, ABC, CBS, ve DuMont kanalları haftanın yedi günü yayın yapmaya başlamış ve prime-time konseptini ortaya çıkarmışlardır.

1949: Federal İletişim Kurulu (FCC), yayıncıları bir tartışmayı ele alırken bir konunun tüm taraflarını araştırmaktan ve sunmaktan sorumlu kılan Adalet Doktrini'ni kabul etmiştir. Bu yasa, yayıncıların seçimlerde yarışan adaylara eşit yayın süresi vermesini gerektiren 1934 İletişim Yasası'na bir ektir.

1950: İlk uzaktan kumanda icat edilmiştir.

1950: Fiyat düşüşleri nedeniyle, Amerikalılar 1949'da haftada 100.000 televizyon satın alıyordu. Çılgınlık, şehirlerden çiftçilerin ilk kez gördükleri kırsal alanlara yayılmıştır.

1951: Philip Morris sponsorluğunda "I Love Lucy" doğmuştur. Yarım saatlik sitcom, ilk altı tam sezonunun dördünde ABD'de bir numaralı program olarak yer almış ve 67.3 milyon izleyiciye ulaşmıştır.

1951: 21 Haziran'da CBS kanalı, ilk renkli programı yayınlamıştır. CBS'nin renk sistemi Amerika'da yalnızca az sayıda televizyon ile çalışmıştır. Amerika genelinde sadece 12

müşteri ilk renkli televizyon yayınını görebilmiştir. 12 milyon diğer televizyon bu program için boş kalmıştır.

1952: 1950'lere gelindiğinde, televizyon, 1955'e kadar tüm Amerikan evlerinin yarısından fazlasının televizyon setlerine sahip olmasıyla gerçek anlamda ana akıma girmiştir. Tüketici sayısı arttıkça yeni istasyonlar oluşturulmuş, daha fazla program yayınlanmış ve bu on yılın sonunda televizyon; Amerika Birleşik Devletleri'nde ev eğlencesinin ana kaynağı olarak radyonun yerini almıştır (Pruitt, 2021).

1952: 1952'nin sonunda, bir önceki yıla göre %33'lük bir artışla Amerika genelinde 20 milyon hanede televizyon bulunabilirdi. ABD'li reklamverenler, 1951'e göre %38,8'lik bir artışla televizyon reklam süresine toplam 288 milyon dolar harcamıştır.

1953: İlk renkli televizyon yayın sistemi başlamıştır.

1958: Amerika genelinde 525 kablolu TV sistemi 450.000 aboneye hizmet vermeye başlamıştır.

1960: John F. Kennedy ve Richard Nixon arasındaki dört tartışma, yıl boyunca dünya çapında yayınlanmış ve başkanların kampanya yapma şeklini sonsuza dek değiştirmiştir.

1962: Japonlar tarafından geliştirilen Meidensha, 10 ila 21 inç ekranlarda gelebilen tanınmış bir başka televizyon modelidir, ancak yalnızca birkaçı renkli olarak mevcuttur.

1963: Televizyon, tarihte ilk kez bir bilgi kaynağı olarak gazeteleri geride bırakmıştır. Bu yıl yapılan bir ankette, izleyicilerin %36'sı televizyonu basılı yayından daha güvenilir bir kaynak olarak bulmuştur.

1964: FCC, kabloyu ilk kez düzenler. FCC, operatörlerin uzak pazarlardan gelen ve yerel bir istasyonun kendi programlamasını (yerel istasyon talep ederse) kopyalayan programlamayı karartmalarını istemiştir.

1964: 73 milyon izleyici, The Beatles'ın Ed Sullivan Show'da görünmesini izlemiş ve bu alanda bir rekor kırılmıştır.

1965: NBC, kanalı programlarının %96'sını renkli olarak yayınlamaya başlamıştır.

1969: Milyonlarca Amerikalı izleyici televizyonda canlı izlerken, Astronot Neil Armstrong ilk kez ayda yürümüştür.

1970: Bu yıllarda renkli televizyonun popüler olduğu kanıtlanarak, Marconiphone monokrom alıcısı gibi siyah-beyaz televizyonlardaki fiyat düşüşleri ile birlikte 1970'lerde hanelerin birden fazla seti karşılayabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca Vietnam Savaşı'nın yayınlanmasından Watergate skandalına kadar televizyon, dünyada olup bitenlere bir büyüteç tutmuştur.

1970: Kablo ağları, 70'lerin ortalarında popüler hale gelmiştir.

1971: Reklamların ortalama uzunluğu 60 saniyeden 30 saniyeye inmiştir.

1976: Şekil 1.11'de görülen Sinclair Microvision 1976'da piyasaya sürülmüş ve ilk kez taşınabilir televizyon sunulmuştur. Sonrasında Sinclair'in cep televizyonuna benzer bir ruha sahip olan Seiko TV Watch, dünyanın en küçük televizyonu olarak ortaya çıkmıştır (Hur, n.d.; Pruitt, 2021).

Şekil 1.11

Clive Sinclair ve Sinclair Microvision. United News/Popperfoto, Getty Images



1979: Tamamen spora ayrılmış bir ağ olan ESPN, kablolu yayına başlamıştır. ESPN, en büyük ve en başarılı temel kablo kanalı olmaya devam edecektir.

1980: Ted Turner, günde 24 saat haberleri sergilemeye adanmış bir kanal olan Kablo Haber Ağı'nı (CNN) başlatmıştır.

1981: Japonlar tarafından o zamanlar çok kullanılamayacak olan HDTV icat edilmiştir.

1989: İzleme Başına Ödeme, tüm kablolu evlerin yaklaşık %20'sine ulaşarak televizyon dünyasına damgasını vurmaya başlamıştır.

1993: 1993'ün başında, evlerin %98'i en az bir televizyona, %64'ü iki veya daha fazla televizyona sahiptir.

1996: 18 inç çapındaki dijital uydu çanakları piyasaya çıkmış ve tarihte en çok satan elektronik ürünlerden biri haline gelmiştir.

2000: Dijital Video Diski (DVD) tanıtılmıştır.

2004: DVD'ler ilk kez kasetlerden daha fazla satmaya başlamıştır.

2005: Düz ekran televizyonlar ilk kez tanıtılmıştır.

2006: Sony, DVD ile aynı boyutta olmasına rağmen 27 GB'a kadar kapasiteye sahip Blu-ray disk formatını piyasaya sürmüştür.

2010: Avatar gibi popüler 3D gişe rekorları kıran filmlerin teşvikiyle 3D televizyonlar piyasaya çıkmaya başlamıştır (Hur, n.d.; Wilson, 2020; Cavalier, 2004, s. 240).

Türkiye'de Yayıncılığın Geçmişi

Türkiye'de televizyon yayıncılığı diğer ülkelere kıyasla daha geç başlamıştır. Türkiye'de televizyonla 1960'lı yıllardan sonra ilgilenmeye başlanılmış ve televizyonun dünya üzerinde kullanımının yaygınlaşması bu ilginin artmasına neden olmuştur. İlk televizyon yayınları 1952 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Fakültesi Elektronik Bölümü tarafından 1 KW güçle başlatılan İstanbul Teknik Üniversitesi Televizyon Yayınları'dır. Bu yayınlarda haber, müzik, show ve çeşitli kültürel programlara yer verilmiştir. 1952-1953 yıllarında İTÜ televizyonu Cuma günleri 17.00-18.00 arasında düzenli yayınlara başlamıştır. Ama bu yayınları izlemek isteyenler, henüz alıcılar bulunmadığından dolayı İstanbul Teknik Üniversitesi binasına gelmek zorunda kalmışlardır. Bu gelişmelerle birlikte Türkiye televizyon ile tanışmış olur. 1964 – 1968 yılları arasında ise televizyon alabilenler konutların çatılarına antenler yaptırmaya başlamıştır (Atatürk Üniversitesi, t.y., s.10). Yapılan yayınlar 1968 yılında yayın hayatına başlayan TRT Kurumu tarafından devam ettirilmiştir. Televizyonda ilk canlı yayın 1972 yılında yapılmıştır. Bir süre siyah-beyaz olarak yapılan yayınlar sonrasında ise 1978'de ilk renkli televizyon yayını yapılmış ve renkli televizyon yayıncılığı devam etmiştir. 1989 yılında ilk özel televizyon yayını Magic Box Star 1 adıyla yurt dışından uydu üzerinden DTH 7 (Direct to Home) sistemi ile yapılmaya başlanmıştır. Star Tv'nin ardından "Kanal 6" Televizyonu yayın hayatına girmiştir ve Türkiye için özel televizyonlar dönemi resmen başlamıştır (Altın, 2021, s.7).

1.2. Analog Yayıncılık

Kesintisiz ve doğrusal yapıda olan analog sinyallerle oluşturulmuş ve 1900'lerin başında kullanılmaya başlanmış olan analog yayıncılıkta çok büyük bant genişlikleri ve ortamdan kaynaklı manyetik bozukluklar gibi sorunlar bulunmaktadır. Analog yayıncılık televizyon vericileri ile sağlanır ve sinyaller genlik modülasyonu ile kuvvetlendirilir. Yayın sistemi olarak VHF (174-230 MHz) ve UHF (470-790 MHz) frekans aralıklarında, VHF için 7 MHz'lik; UHF için 8 MHz'lik bant genişlikleri kullanılmaktadır. Aynı zamanda Band I olarak adlandırılan 47-69 MHz frekans aralığı da kullanılmaktadır (Akar, 2017, s. 7).

Dünya genelinde yalnızca iki ana analog televizyon standardı vardır: 50 Hz kare hızına sahip 625 hatlı sistem ve 60 Hz kare hızına sahip 525 hatlı sistem. Bu sistemlerin bileşik renkli video ve boşluk sinyali (CVBS, CCVS) aşağıdaki iletim standartlarında iletilir:

- PAL (Faz Alternatif Hat)
- NTSC (Ulusal Televizyon Sistem Komitesi)
- SECAM (Séquentiel Couleur ve Mémoire)

1.2.1.NTSC (National Television System Committee)

Ulusal Televizyon Sistemi Komitesi tarafından formüle edilen ve geliştirilen NTSC olarak bilinen ilk renkli iletim sistemini ABD 1941 yılında tanıtmıştır. İlk olarak siyah-beyaz televizyonlar için geliştirilmiş olup renkli televizyon kullanımına da uyum göstermiştir. Kuzey Amerika ve Japonya gibi uzak doğu ülkelerinde tercih edilen NTSC, 6 MHz bant genişliğine sahip olup 525 satır/çerçeve 29.97 alan/sn olarak kodlama yapar (Sony, 2021; Ağırbaşlı, 2017, s. 43).

1.2.2.PAL (Phase Alternating Lines)

1962 yılında geliştirilen PAL yayın sistemi ülkemizde de kullanılan 50 Hz sistemi ile enerji kullandığı için tercih edilmekte olup dünyada da en yaygın olarak kullanılan standarttır. Bu sistem saniyede 50 alan, 25 çerçeve iletim sistemine göre çalışmaktadır. PAL sisteminde 576'sı aktif olmak üzere 625 satır/çerçeve, 25 alan/sn bilgisi iletilir. İletim

sırasında VHF ve UHF frekans bölgeleri kullanılmaktadır. 7-8 MHz genişliğindeki her bir kanaldan bir analog televizyon yayını yapılabilir. Yayın sırasında ise genlik modülasyonu kullanılmaktadır. Ses bileşenleri ise, çevresel ve elektronik bozucu etkilere karşı daha dayanıklı olduğu için FM frekans modülasyonu ile iletilir (Trundle, 2001, s. 43-45).

1.2.3.SECAM (Séquentiel Couleur À Mémoire)

1956 yılında geliştirilen ve ilk renkli televizyon standardı olan SECAM sistemi Fransa, Doğu Avrupa ülkeleri ve Rusya (SSCB) bölgesinde kullanılır ve 7-8 MHz bant genişliğine sahip olup 625 satır/çerçeve 25 alan/sn olarak kodlama yapar (Sony, 2021).

1.3.Sayısal Yayıncılık

Analog televizyon yayıncılığının birçok sınırlayıcı faktörü vardır. Gürültü ve parazit nedeniyle sinyal bozulması, çok yollu sinyallerden kaynaklanan gölgelenme etkileri, spektrum tıkanıklığı, mobil alımın mümkün olmaması, sınırlı etkileşim ve yardımcı veri hizmetleri gibi kritik sınırlamalar sayısal yayın teknolojilerinin gelişmesine yol açmıştır. Sayısal teknolojiler, analog elektronik teknolojilerine kıyasla üzerinde çalışılması, işlenmesi algoritmik olarak daha kolaydır, sistem sürekliligi daha kararlı olduğundan dolayı sayısal televizyona geçiş, yayıncılık için oldukça önemli bir evredir. Maliyet açısından da yayın sistemleri aşamasında bu geçiş belirleyici olmuştur. Geleneksel sistemlerde iletim yöntemleri olan kablo, uydu, karasal vericiler analog dönemde işletilmesi ve devamlılığın sağlanması anlamında zorunluluk gereği yenilenmesinin getirdiği maliyetler işletmeler açısından yüksek boyutlarda olmuştur (Punchihewa, 2011, s. 3).

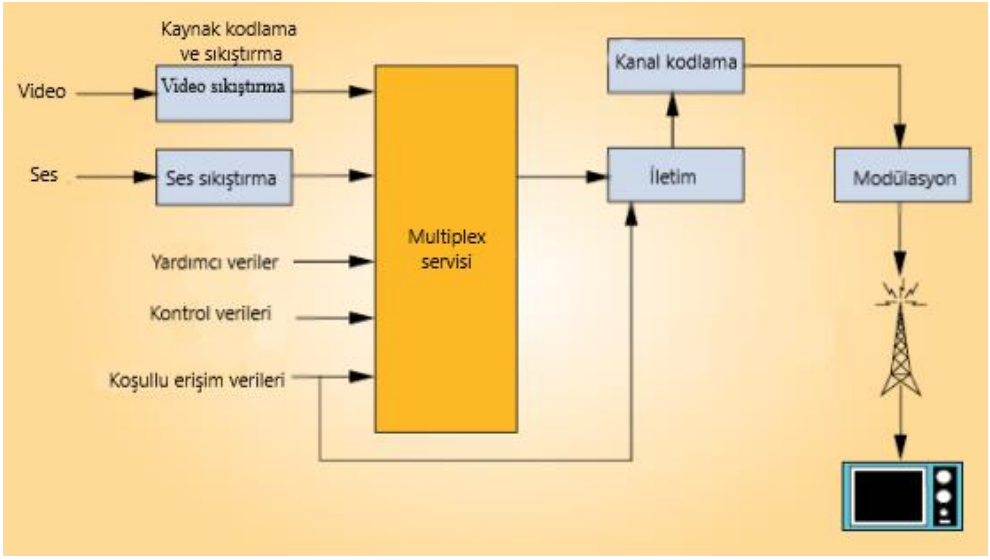
Analog bir uydu yayınında, tek bir kanal için uydudaki transponder adı verilen yansıtıcının tamamının kullanılması gerekli iken günümüzdeki sayısal teknolojilerde aynı transponder üzerinden 8-10 HD yayının yapılma olanağı vardır. Karasal vericilerden yayınların iletilmesi sırasında, analog vericilerden VHF veya UHF bantlarında, tek bir frekans kanalından sadece bir adet analog yayın yapılabiliyordu. Günümüzde ise sayısal vericiler üzerinden multiplex olarak adlandırılan çoğullama yöntemiyle yaklaşık 40 Mbit/s kapasiteyle 5-6 HD veya 15-20 SD kanalın aynı anda tek bir UHF kanalından iletilebilmesi

mümkün kılınmıştır. Sayısal vericilerin işletme giderleri de analog vericilere kıyasla çok daha düşüktür ve enerji tüketimi de daha azdır (Altın, 2021, s. 8).

Analog teknolojiler, kablolu yayıncılık kullanımında da altyapı kurulumu ve kaliteli işletme devamlılığı için hem pahalı hem de işletme–bakım konusunda zorluklar oluşturmuştur. Sayısal teknolojilerle birlikte sayısal kablo yayıncılığı dönemine geçiş yapılarak DVB-C formatı üzerinden servis hizmeti verilmiştir. Aynı altyapı üzerinden internet hizmeti de verilmektedir. Ayrıca sayısal teknolojilerle birlikte dünyada ve ülkemizde IPTV erişimi de başlamıştır (İlhan &Bağcı, 2016, s. 30).

Şekil 1.12

Sayısal TV Sistem Modeli ve Bileşenleri. Tutorial on Digital Terrestrial Television Broadcasting. Punchihewa, 2011, s.4



1.3.1.Sayısal Video ve Formatlar

Sayısal video teknolojilerinde yapım ve yayın süreçlerindeki temel bant sinyallerdir. Bu sinyal, analogdan dijitale dönüştürülmüş (A/D Conversion) ya da doğrudan dijital olarak üretilmiş yani sıkıştırılmamış video/audio sinyalleridir. Video ve audio sinyalleri yapım aşamasında ayrı ayrı üretilip işlenir ve sonrasında iletim esnasında bir araya getirilir. Bu

nedenle sinyallerin yapıları ve özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir (Altın, 2021, s. 9).

Analog dönemde sinyal, renk ve parlaklık verilerinin bir arada bulunduğu ve işlendiği composite sinyal şeklindedir. Sayısal videoda ise renk ve parlaklık bileşenleri ayrı ayrı işleme tabi tutulur. Bu sinyal formatına component video denir. Sayısal videoda YUV olarak adlandırılan ve sırasıyla parlaklık (luminance-Y) ve renk (chroma-U,V) bileşenlerine karşılık gelen analogtan sayısala sinyalin dönüştürülmesi sırasında detay oranını belirleyen oransal rakamlar vardır. Örnek olarak, 4:2:2 formatında örnekleme denilen analog/sayısal dönüşümünde 4 birim parlaklık (Y), 2 birim renk (U), 2 birim diğer renk (V) örneği alınır ve işlenir. Bu sistemde en yaygın olarak kullanılanlar 4:2:2, 4:1:1, 4:2:0 formatlarıdır (Altın, 2021, s. 9).

Sayısal televizyon yayıncılığına geçiş ile birlikte çerçeve oranı (aspect ratio) kavramı da dikkat çekmiştir. Analog yayıncılık döneminde bir televizyon video sinyalinde, satır sayısı tanımlamada ayırt edici ölçüttür. PAL sistemi için 576 satır, NTSC sistemler için 480 satır aktif olarak iletilen ve işlenen satır sayısıdır. Geçmeli tarama adı verilen bir çerçeveyi oluşturan 576 (480) satırın tek ve çift satırlar olarak iki alana ayrılıp ayrı ayrı iletilmesi nedeniyle alan sayısından yola çıkılarak zaman zaman 25 (30) çerçeve yerine 50 (60) alan sayıları da kavramsal olarak kullanılmıştır. Standart çözünürlüklü (SD) televizyonda da ifade edilen 576/50i veya 480/60i terimleri, analog dönemdeki PAL ve NTSC sistemlerine ilişkin video sinyalinin 4/3 çerçeve oranlı hali olarak gösterilmektedir (Altın, 2021, s. 10).

Analog yayınlarda iletilen tek bir kanal frekansından sayısal yayıncılıkta aynı anda 9 adet yüksek çözünürlüklü (HD) kanal veya yaklaşık 20 adet SD kanal yayını yapılabilmektedir (45 Mbit/sn üzerinden, 1 MPEG-4 HD kanal 5 Mbps, 1 MPEG-4 SD kanal 2.2 Mbps, olarak hesaplanmıştır) (Radyo ve Televizyon Üst Kurulu [RTÜK], 2006, s. 4-10).

SFN

Tek Frekans Ağı (SFN), aynı frekansta çalışan, aynı programı yayınlayarak içindeki boşlukları doldurmak veya tek bir verici tarafından sağlanan hizmeti genişletmek için kullanılan iki veya daha fazla iletim sistemidir. Bu teknik, çoklu sinyallere karşı dayanıklılığı nedeniyle yalnızca Dijital Karasal Televizyon Yayıncılığı (DTTB) için geçerlidir (Punchihewa, 2011, s. 21). Çalışma prensibi olarak alıcı sistemlerin farklı vericilerden gelen

sinyalleri yansıyan sinyal olarak algılamasıyla bu sinyallerin de belirli bir koruma aralığında tutulması ile birlikte kaliteli ve kesintisiz bir görüntü oluşmuş olur. SFN sisteminde vericiler eş zamanlı yayın yapmalı ve aynı frekansı kullanmalıdır. Temel zorluk da burada başlarken eş zamanlı yayını sağlamak için vericilerin faz ve frekansının küresel konumlama sistemi (GPS) uyduları aracılığıyla senkronizasyonunun sağlanması gerekmektedir (Ağırbaşlı, 2017, s. 55).

1.3.2. Sayısal Yayıncılık Standartları

Sayısal Karasal Yayıncılık kullanımında dünyada ortak bir yayın sistemi üzerinde anlaşma sağlanamamıştır. Farklı bölgelerde farklı sayısal yayın sistemleri kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan üç ana standart vardır: DVB-T, ISDB-T ve ATSC.

Ülkemizi de kapsayan Avrupa, Avustralya, Afrika, Rusya gibi bölgeler DVB-T sistemini tercih etmişlerdir. ABD, Kanada, Meksika, Güney Kore gibi ülkeler ise tercihlerini ATSC sisteminden yana kullanmıştır. Güney Amerika bölgesi, Japonya ve bazı uzakdoğu ülkeleri ISDB-T sistemini kullanırken Çin ve Pakistan gibi ülkeler DTMB sistemini tercih etmiştir. Bu sistemlerin hepsi, sayısal teknolojiyi kullanırken teknik ayrıntılarda farklılaşsalar da analog yayınlarla kıyaslandığında çok daha kaliteli içerikleri izleyiciye sunmaktadırlar. Bu sistemlerin farklı olması alıcıların da farklı olması sonucunu doğurur. Bazı televizyon üreticileri çözüm olarak gömülü sistemler kullanırken bazıları ise set top box çözücüleri tercih etmiştir. Sayısal karasal yayıncılık (DTT) için Türkiye'de 2006 yılında DVB-T kullanılarak deneme yapılmıştır. Sonrasında hayata geçirilme sürecindeki belirsizlik, yayıncıların DTT ağına yatırım yapma konusunda soru işaretlerine neden olmuştur. DTT projesi 2016 senesinde ise Çanakkale'de çok amaçlı 100 metrelik verici inşaatı ile tekrar canlandırılmıştır. Küçük Çamlıca Radyo TV Kulesi ve Çanakkale TV Kulesi'nin açılışıyla birlikte 2021'de resmi DTT lansmanı yapılmadan test yayınlarına başlanmıştır (Wikipedia, t.y.).

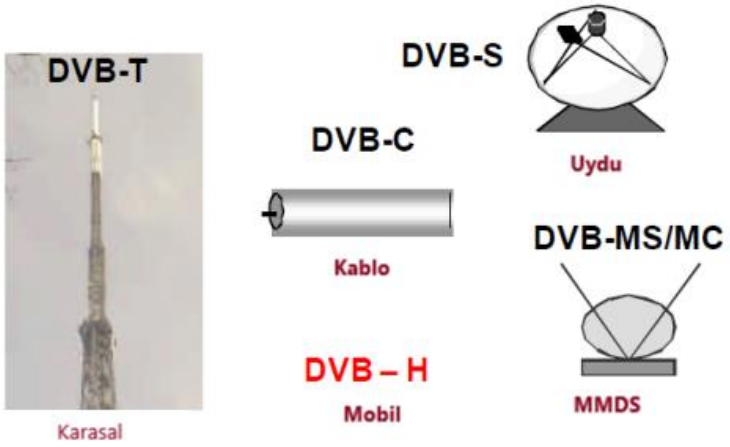
1.3.3.Sayısal Yayıncılıkta İletim Ortamları

Yayınlar farklı ortamlardan izleyicilere iletilmektedir. Sayısal yayıncılıkta karasal, uydu ve kablo ortamlarından iletimlere göre düzenlemeler yapılmıştır. DVB standardının dünya genelinde en çok tercih edilen standart olmasından dolayı bu bölümde DVB'ye yönelik iletim incelenmiştir.

DVB sistemi bir Avrupa Konsorsiyumu tarafından geliştirilmiştir. DVB dünyada en yaygın olarak kullanılan DTT sistemidir. DVB, her iletim biçimi için eksiksiz bir standart yelpazesine sahiptir. DVB-T, DVB-S, DVB-C, DVB-H olarak ayrılmaktadır. DVB-H, mobil ortamdan yayıncılık yapan bir teknoloji olduğu için sonraki bölümde ele alınacaktır.

Şekil 1.13

DVB'nin En Yaygın Formları. Tutorial on Digital Terrestrial Television Broadcasting. Punchihewa, 2011, s.3



1.3.3.1. DVB-T ve DVB-T2

DVB-T 1997 yılında sunumu yapılan ve 1998'de yayınlarına başlayan, Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI) tarafından standart haline getirilmiş bir sayısal karasal yayıncılık sistemi tanımlamasıdır. Sayısal karasal yayıncılıkta, verici üzerinden birden fazla yayının çoğullanarak (multiplex) Hareketli Görüntü Uzmanları

Birliği (MPEG) transport stream paketi ve iletim ortamı olarak havadan iletilmesi işlemi yapılmaktadır. Tek bir frekans üzerinden, HD ve SD olarak birçok kanal bir arada gönderilmektedir. Analog vericilerde enterferans olmaması dikkate alınarak yapılan planlama neticesinde frekans bandı verimli kullanılamaz. Sayısal vericilerde ise, SFN metodu ile aynı frekans birbirine yakın vericilerde bile kullanılabilmektedir (Altın, 2021, s. 35).

DVB-T ile yapılan yayınlarda VHF ve UHF frekans bantları kullanılır. Tek bir kanal frekansından grup şeklinde yani multiplex yayın (örnek olarak tek bir kanaldan DVB-T için 4-5 HDTV yayın, DVB-T2 için 8-9 HD TV yayın eş zamanlı) yapılabilmektedir. Verici gücü olarak da analog vericilere göre çok daha az güç tüketilerek enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Köse, 2011, s. 79).

DVB-T'nin devamında yeni bir versiyon olarak 2006 yılında ETSI tarafından DVB-T2 standardı tanımlanmıştır. DVB-T'nin güncellenmiş sürümü olarak da kabul edilebilen DVB-T2 ile ihtiyaç olan yüksek çözünürlüklü yayınlar için gerekli kapasite artışını sağlanmıştır. Farklı özellikteki alıcılara uyum sağlayabilmesi ve daha kısa verici mesafeleri de öne çıkan özellikleri arasındadır. Bu aşamada H.264/MPEG-4 AVC, yakın zamanlarda da H.265/MPEG-H HEVC video kodeklerinin kullanımı önemli katkı sağlamıştır. Kullanılan yeni nesil kodeklerle ultra yüksek çözünürlüklü (UHD) çözünürlüklü televizyon yayınlarını da yapmak mümkün olmuştur (Altın, 2021, s. 35).

1.3.3.2.DVB-S ve DVB-S2

Uydu yayıncılığı günümüzde en çok tercih edilen televizyon yayıncılığı yöntemlerinden biridir. Çalışma prensibi olarak dünyadan gönderilen bir uplink frekansı ile modüle edilen bir sinyal alınır ve kuvvetlendirilir. Sonrasında daha düşük bir frekansla modüle edilerek downlink işlemiyle tekrar dünyaya gönderilir. Uydu iletiminde 1995 yılından beri kullanılan ve ülkemizde de tercih edilen DVB-S standardı en yaygın olarak kullanılan standarttır. Daha çok Amerika'da kullanılan dijital uydu sistemi (DSS) ve uzak doğu ülkelerinde tercih edilen entegre dijital uydu sistemleri (ISDB-S) gibi farklı formatlar da bulunmaktadır (Altın, 2021, s. 35).

Zaman içinde DVB-S, dünya çapında 100 milyondan fazla alıcı ile dijital uydu televizyonunun dağıtımı için en popüler sistem haline gelmiştir. Ancak, zaten kıt olan ve

daha fazla bant genişliği gerektiren HDTV hizmetlerinin başlatılması ve yayın kanallarının sayısının artmasına ek olarak iletim maliyetinin artmasıyla birlikte, DVB topluluğu tarafından ikinci nesil bir uydu standardı DVB-S2 yayınlanmıştır. Amaç, uydu yayın hizmetlerinin kapasitesini artırmak için belirli bir bant genişliğinde veri çıkışını artırmak veya alternatif olarak daha az uydu kapasitesi kullanmak ve dolayısıyla maliyetten tasarruf etmektir. Kapasite anlamında %30 ile %50 civarında artış sağlayan DVB-S2, günümüzde de daha çok tercih edilen standarttır (El-Hajjar & Hanzo, 2013, s. 10).

1.3.3.2.1. DVB-S2X

DVB-S2 standardının devamı niteliğinde 2010 yılında DVB-S2X standardı oluşturulmuştur. Yeni modülasyon teknikleri ile de transponder iletim kapasitesinde artışlar sağlanabilmiştir. Temel hedef, aynı transponder bant genişliği üzerinden daha fazla iletim sağlamaktır. Bu daha fazla sayıda kanal sayısı, daha çözünürlüğü yüksek içerikler anlamına gelmektedir. H.265 kodeğinin de uydu sistemlerinde desteklenmesiyle aynı bant genişliği üzerinden daha fazla iletim sağlanabilecektir, bu da daha fazla kanal ve yüksek kaliteli içeriklere erişimi hızlandıracaktır (Altın, 2021, s. 36).

S2X sistemi, havadan (iş jetleri), denizcilik, sivil havacılık internet erişimi gibi pazarlara hizmet etmek için çok düşük taşıyıcı/gürültü ve taşıyıcı/parazit oranları ile çalışma olanağı sunmaktadır. Ayrıca, S2X sistemi, çok yüksek taşıyıcı/gürültü ve taşıyıcı/parazit oranları koşullarıyla karakterize edilen profesyonel bağlantılara hizmet etmek için önemli ölçüde daha yüksek kapasite ve verimlilik sunan iletim modları sağlar. (Digital Video Broadcasting [DVB], 2021)

1.3.3.3.DVB-C ve DVB-C2

Sayısal televizyonda kablo üzerinden iletimde ise ülkemizde de tercih edilen DVB-C standardı geliştirilmiştir. Amerika bölgesi için ATSC-Cable, uzak doğu için ISDB-C standartları kullanılmaktadır. Kablo yayıncılığının çalışma prensibinde belirli bir merkezde toplanan yayınların koaksiyel kablolar yardımı ile kullanıcıya ulaştırılması yöntemi

uygulanmıştır. DVB-C ile görüntü kalitesinin ve veri iletim olanaklarının yüksek olduğu güvenilir bir sistem elde edilmiştir (Altın, 2021, s. 38).

1.4.IPTV

İnternet protokolü (IPTV), televizyon yayınlarının internet protokolü üzerinden izleyiciye aktarımını sağlar (Ünal, 2012). IPTV, IP tabanlı özel bir ağ üzerinden video ve ses içeriklerinin iletilmesidir. Multicast iletim yöntemi kullanılarak çok sayıda kullanıcının aynı anda erişebildiği IPTV, yalnızca yayın amacıyla değil birçok farklı sektördeki uygulamalarda da kullanılmaktadır. IPTV'de içerik kullanıcıya göre özelleştirilebilir ve sınırsız kanal kapasitesi sağlanabilir. Taşınılabilir özelliği bulunmakla birlikte video kaydı da gerçekleştirilebilmektedir (Arslan, 2007, s. 14).

Yayının yapım aşamasında multicast yönteminde okuyucu sunucu, içeriği bir defa gönderir ve istenilen sayıda alıcı içeriğe ulaşabilir. Burada kullanılan bant genişliği kullanıcı sayısı ile ilgili değil, içeriğin okunma sayısı ile ilgilidir. Bir başka yöntem olan Unicast iletimde ise, kullanılan bant genişliği içeriği alan kullanıcı adedi kadardır. Dolayısıyla kullanıcı sayısından bağımsız olması ve dış etkenlerden etkilenmemesi nedeniyle multicast yöntemi daha uygun olarak kabul görmüştür. Ancak multicast için public ağ yapıları güvenli değildir, daha özel yapıların olması gerekmektedir (Altın, 2021, s. 39).

1.5.WebTv

Sayısal televizyon hizmetlerinin açık internet ağı kullanılarak tarayıcı vasıtasıyla izleyiciye sunulmasıdır. IPTV ile sıklıkla karıştırılabilen WebTV, dünyanın her yerinden erişilebilen daha basit denetimler yapılarak kullanıcıların mevcut internet altyapısı ile internet tarayıcıları üzerinden içeriğe ulaştığı bir sistemdir. IPTV servisinde olduğu gibi yüksek görüntü kalitesi sunulması vaat edilmediğinden düşük bant genişliği kullanılarak da hizmet verilebilmektedir, dolayısıyla yayınlar internetin o an mümkün kıldığı görüntü kalitesinde izlenebilir (Ağırbaşlı, 2017, s. 26).

1.6.Mobil Yayıncılık

Sayısal tekniklerle hazırlanmış ve iletimi gerçekleştirilmiş yayınların, hareketliliği olan telefon, bilgisayar, tablet ve konsollar gibi cihazlar tarafından internet tabanlı kablosuz iletim yöntemleri ile alınmasıyla mobil televizyon yayıncılığı gerçekleşir. Erişim sağlanırken daha çok 4G/LTE ve 5G gibi hücresel ağlar ile Kablosuz Bağlantı Alanı (WiFi) teknolojisi tercih edilmektedir.

1.6.1. Mobil Yayıncılık Teknolojileri

Mobil yayıncılıkta kullanıcı için içerik kalitesini etkileyen en önemli unsurlar işlemci, ekran boyutu, bellek ve batarya ömrüdür. Ekran boyutu doğrudan çözünürlük ile ilgili olduğundan kaliteyi etkileyen ana etkenlerden biridir. İşlemci gücü ve bellek değerinin de sayısal video işlemede ve depolamada ayırt edici unsurlardan olması nedeniyle izleme kalitesini doğrudan etkilemektedir. Yeni teknolojilerin mobil cihazlarda çalışması için de son teknoloji WiFi sürümleri ve 5G ağlar kullanımı oldukça kolaylaştırmaktadır. Özellikle 5G teknolojisinin açık alanlarda geniş kapsama özelliği sayesinde mobil yayıncılıkta erişimsiz alan kalması mümkün olmayacaktır. İnternet üzerinden Over the Top (OTT), seç-izle (VoD), uygulamaları, podcasting erişimleri bütün ortamlarda kesintisiz ve yüksek kalite ile sağlanacaktır.

1.6.1.1.Streaming

İnternet üzerinden akış anlamına gelen streaming, internet alt yapısı kullanılarak multimedya içeriklerinin bir yerden başka bir yere iletilmesi anlamına gelmektedir. Geleneksel yayıncılıkta karasal, uydu veya kablolu televizyon altyapıları üzerinden içeriğe erişim sağlanırken belirli bir yayın akışına veya mekana bağlı kalmak gibi kısıtlamalar oluşmaktaydı. Bu durum doğrusal (lineer) yayıncılık olarak adlandırılmaktadır. Streaming ise buna alternatif olmuş ve isteğe bağlı yayıncılığı sunmuştur.

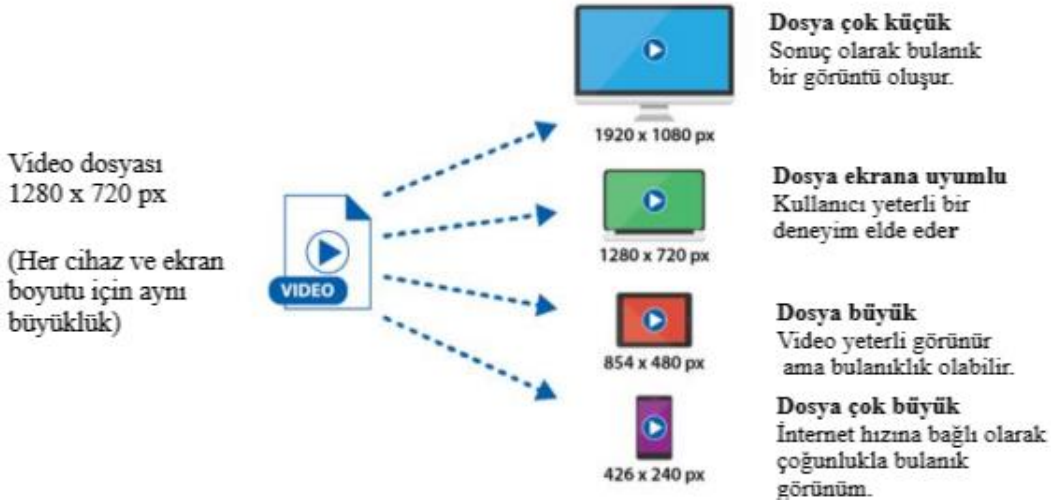
İşlenmesi için en çok aşama gerektiren videonun oluşturulması, iletilmesi ve izleyiciye sunulması öncesinde bir takım sayısal işlemler gerekmektedir. Ham görüntünün

elde edilme süreci kamera ile başlar ve görüntü bir kurgu içerisinde zenginleştirilerek yayına hazır hale getirilir. Bu işlemde katmanlı yapılardan oluşan ağ protokolleri kullanılmaktadır. Protokol, iki cihaz arasındaki haberleşmede bir işin nasıl yapılacağının tanımlandığı, bu tanımlama üzerinde standardizasyonun sağlandığı ve en küçük detayıyla adım adım her türlü işlemin açık bir şekilde belirlendiği kurallar bütünüdür. Oluşturulan içeriğe internet aracılığıyla erişim sağlanırken aşamalı indirme (progressive download) veya akışlandırma metotları kullanılmaktadır (Altın, 2021, s. 45).

Aşamalı indirme yönteminde sunucu kısmında, medyanın önceden dosya formatında hazır edilmiş ve depolanmış olması gerekmektedir. Multimedya içeriğini bulunduran dosyayı okuyabilmek için önce o dosyanın, okuyucunun bulunduğu akıllı cihaza indirilip kayıt edilmesi sonrası bilgi içeren bölümün (metadata) tarayıcı tarafından kullanılması sağlanmaktadır. Çözünürlük, sıkıştırma formatı, görüntü oranı gibi tercihler kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. İndirme işlemi tamamlanmadan okuma işlemine başlanmaz. Aşamalı indirme yönteminde metadata bilgileri, sunucu tarafından istemciye indirme işleminin henüz başlangıcında gönderilmektedir. Bölümlere ayrılmış medya içeriği de istemciye gönderilmeye başlanır. Kullanıcı, okuyucu üzerinden metadata ile gelen seçenekler arasından aradığı nitelikleri belirler ve istemci cihazda olan tampon bellek seviyesi belirli bir orana ulaştığında okuma işlemi başlatılır. Dosya farklı çözünürlüklerde okunabilse de Şekil 1.14'te de gösterildiği gibi farklı ekran boyutlarına sahip cihazlarda farklı performansta okumalar görülecektir. Bu tarz durumlarda yüksek çözünürlüklü videolar, küçük ekranlarda donma ve titreme gibi sorunlara neden olabilirler. Burada streaming ile karşılaştırıldığında en belirleyici farklılıklar; istenildiği zaman medyanın istenilen yerden oynatılabilmesi ve medyanın istemcide depolanabilmesidir. Medyanın istemcide kaydedilmesi, dolayısıyla kopyasının oluşturulması içerik üreticileri tarafından tercih edilmemektedir (Altın, 2021, s. 45).

Şekil 1.14

Aşamalı İndirme Yöntemi. Televizyon Yayıncılığında Yeni Trendler: Mobil Yayıncılık. Altın, 2021, s.46

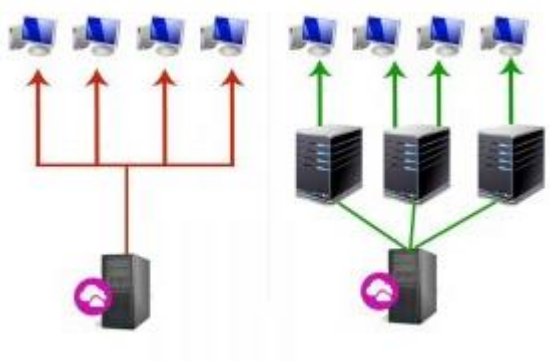


1.6.1.1.1. İçerik Dağıtım ağları (CDN)

İçerik Dağıtım Ağları (CDN), internet üzerinden video dağıtımı için ana yaklaşım olarak kabul edilmiştir. CDN, video streaming, televizyon yayını veya bir web sitesine erişim sırasında kullanıcıları coğrafi olarak kendilerine en yakın bölgede konumlanmış sunuculara yönlendiren bir sunucu sistemidir. Bir içeriğe erişirken, tüketen istemciler, ağ tıkanıklığını azaltmak, ağ gecikmesini azaltmak ve daha yüksek verim elde etmek için yakınlığa -veya diğer parametrelere- dayalı olarak mevcut en iyi sunuculardan birine otomatik olarak yönlendirilir. Bunun yapılma nedeni ise sunucu ile kullanıcı arasındaki fiziki mesafelerin sistemin kalitesini etkileyebilmesi ve yaşanan birikmelerde internette yoğunluk oluşması durumudur (Erdensoy, 2021).

Şekil 1.15

CDN Öncesi ve CDN Sonrası Sunucuların Karşılaştırılması. Content Delivery Network (CDN) Nedir, Avantajları Nelerdir? Erdensoy, 2021



CDN sağlayıcıları tüm dünyada birçok bölgede sunucular bulundurur ve bu sayede ağ gecikmesi en aza indirilir. CDN sisteminin yayıncılıkta kullanımında ilk olarak depolanan medya içerikleri internet üzerinden stream edilir. Sonrasında depolanan içerikler çeşitli protokollere dönüştürülerek kopyalanır ve dünyanın neredeyse her yerine dağıtılmış sunuculara gönderilir. CDN sistemleri günümüzde en az ulusal düzeyde yayın yapan yayıncıların çoğu tarafından tercih edilerek yaygınlaşmıştır (Altın, 2021, s. 63).

1.6.1.2. OTT

Over the top (OTT) yayıncılık geleneksel yayıncılığın üzerine geliştirilmiş olup yayının karasal, kablolu veya uydu yerine internet üzerinden iletilmesiyle gerçekleştirilir. OTT'nin diğer paylaşım platformlarından farklı olarak teknik kalitesinin belirli bir seviyenin altına inmeyen ve profesyonel yayıncılık amacı güden bir anlayış içerdiği görülmektedir. Netflix, Amazon Prime, Hulu, Disney+ gibi platformlar OTT örneği olarak gösterebilir.

Artık Covid-19 pandemisinin tüketici medya alışkanlıklarındaki değişiklikleri hızlandırdığına dair açık kanıtlar vardır (Balhaus & Chow, 2020). İnsanlar daha izole yaşam tarzlarıyla başa çıkmak için yeni eğlence biçimleri bulmaya çalıştıkça, tüm dünyadaki karantinalar dijital medya hizmetlerinin alımını hızlandırmıştır. Örneğin Disney+ platformu, pandemi sırasında rekor sürede 100 milyon aboneye ulaşmıştır. Sunulan isteğe bağlı yayın

modellerine geçiş, rekabet ortamını da değiştirmektedir. Bu kanallarda tüketiciler, erişilebilirlik özelliklerinin evrensel çoklu platform mevcudiyeti (sesli açıklama ve altyazılar) gibi nesne tabanlı medya tarafından desteklenen yeni standartlara ve standart olarak sürükleyici diğer geliştirmelere uyum sağlamaktadır (Office of Communications [OFCOM], 2021, s.42).

Bu yayıncılığın mümkün kıldığı kişiselleştirmenin en acil ve belki de en yaygın ihtiyacı, erişilebilirliğin genişletilmesidir. Bu nedenle, erişilebilirlik özellikleri artık yalnızca belirli ihtiyaçları olanlar için değil, herkes için bir özellik haline gelmektedir. Günümüzde yalnızca büyük platformlar bu hizmetleri tüm platformlarda ve cihazlarda tutarlılık ve güvenilirlikle sunabilmektedir. Erişilebilirlik özelliklerinin bu tutarlılığı ve her yerde bulunması, erişilebilirlik özelliklerinin kullanıcılarının bu platformlara yönelmesine neden olmaktadır. Geleneksel yayıncılar, hem yayında hem de daha az öne çıkan portallarda/uygulamalarda içeriklerinin kullanılabilirliği ve erişilebilirlik özelliklerinin tutarlılığı açısından genellikle geride kalmaktadır. OTT devlerinin özenle seçilmiş kendi uygulama yaklaşımına kıyasla, eski platformların ağır ilerlemesi, çok sayıda dağıtım yöntemi ve destekledikleri çok sayıda cihaz ve uygulama nedeniyle bu anlaşılabilir bir durumdur (Office of Communications [OFCOM], 2021, s.45).

IPTV ile farkına bakacak olursak OTT'de açık internet altyapısı kullanılırken IPTV'de belirli bir servis sağlayıcı üzerinden kapalı internet ile içeriğe erişilmektedir. IPTV geleneksel yöntemlere göre bir alternatif olarak değerlendirilebilirken OTT ise bir tamamlayıcı görevinde sayılabilir (Johnson, 2019).

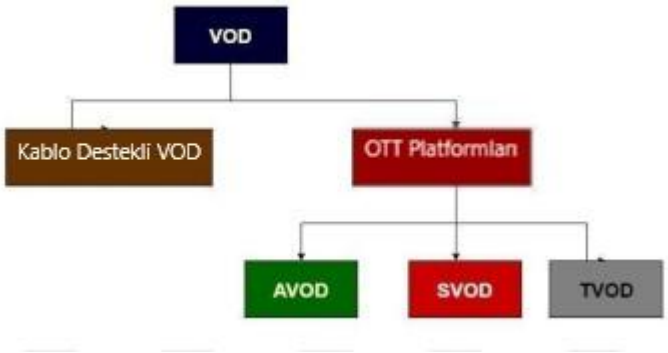
OTT erişiminde unicast yöntemi kullanılır. Uyarlanabilir bit hızı (ABR) streaming metodu ile içeriğin farklı çözünürlüklerde bir kopyası oluşturularak ve içerik dağıtımını tek bir sunucu üzerinden değil de CDN ile çalışan çok fazla sayıda kenar sunucu (edge server) üzerinden yaparak internetteki bant genişliği sorununa yönelik dengesizliklerden kullanıcıların olabildiği kadar az etkilenmeleri sağlanır. Bu çerçevede bir örnek vermek gerekirse, Netflix kullanıcıları günde ortalama 140 milyon saat izleme yaparken Ocak 2018'de aşırı kullanım ile 350 milyon saate çıkmıştır. Tek bir sunucu olsaydı 21000 GB/sn gibi karşılanması imkansız bir rakam kullanıcı talebiyle karşılaşılacaktı ancak CDN ağıyla bu talep sorunsuz karşılanmıştır (Hiemstra, 2021).

VOD

Seç-izle (VOD - Video on Demand) kullanıcının istediği zaman istediği içeriği izlemesini benimseyen bir kavramdır. Geleneksel televizyon yayıncılığındaki genel bir merkez üzerinden seçilen yayınların izlenmesi ortadan kalkmaktadır. Hem kablolu televizyon hem de OTT erişimlerinde VOD kullanılabilmektedir (Vodlix, 2020).

Şekil 1.16

VOD İlişkilendirmesi. VOD. Vodlix, 2020



Abonelik tabanlı isteğe bağlı video (SVOD) kullanabilmek için servis sağlayıcı ile kullanıcı arasında bir sözleşme imzalanmalıdır, abonelik sağlanmalıdır. Genellikle aylık bazda ücretlendirme yapılır ve süre içerisinde sınırsız kullanım fırsatı verilmektedir. SVOD uygulamasına verilecek örnekler; Netflix, Hulu, Disney+ gibi uygulamalardır (Vodlix, 2020).

Talep üzerine isteğe bağlı video (TVOD), tüketicilerin izleme başına ödeme temelinde içerik satın aldığı abonelik videosunun tam tersidir. Bir kez ödeme yaptığınız iki alt kategori vardır: bir içeriğe kalıcı erişim elde etmek için yapılan elektronik satış ve müşterilerin bir içeriğe sınırlı bir süre için daha küçük bir ücret karşılığında eriştiği kiralama yöntemi. TVOD hizmetleri, hak sahiplerine daha yüksek gelirler sağlayarak ve tüketicilere yeni içeriğe zamanında erişim sağlayarak daha yeni sürümler sunma eğilimindedir. TVOD hizmetleri tipik olarak müşterileri cazip fiyat teşvikleri sunarak elde tutar, böylece gelecekte geri dönmeye devam ederler. TVOD hizmetlerine örnekler Apple'ın iTunes, Sky Box Office ve Amazon'un video mağazası olarak verilebilir (Bird, 2019).

SVOD ve TVOD hizmetlerinden farklı olarak reklamcılık üzerine isteğe bağlı video (AVOD), tüketiciler için ücretsizdir. Ancak, televizyon yayını gibi, tüketicilerin de reklamlar aracılığıyla kullanım yapması gerekmektedir. Reklam gelirinin üretim ve barındırma maliyetlerini dengelemek için kullanıldığı DailyMotion ve YouTube gibi platformlar izlenirken AVOD çalışırken görülebilmektedir. Premium içerik sahipleri, SVOD ve TVOD'den daha düşük miktarda gelir sağladığı için AVOD'u nadiren kullanmaktadır. YouTube'un aboneliğe dayalı Premium içeriğini reklam tabanlı bir modele taşımaya başladığını ve hizmetin kullanıcılar tarafından yavaş yakalandığını bildirdiğini belirtmek ilginçtir (Bird, 2019).

1.6.1.3.DVB-H

DVB-H, karasal mobil yayıncılıkta kullanılan bir teknolojidir. Bu standardın Kuzey Amerika'dakarşılığı ATSC-M/H, Japonya'da 1 SEG, Çin'de ise CMMB standartlarıdır. DVB-H sistemi, dijital televizyonun sabit ve araç içi alımı için mevcut DVB-T standardına dayalı olarak tanımlanmaktadır. Bağlantı katmanındaki ana ek unsurlar, zaman dilimleme ve ek ileriye dönük hata düzeltme kodlamasıdır. Zaman dilimleme, sorunsuz ve sorunsuz frekans aktarımı sağlamaktadır. DVB-H'de zaman dilimleme kullanımı zorunludur (Faria vd., 2006, s. 195). Yeni mobil ağ teknolojileri geliştikçe gücünü kaybeden DVB-H istenildiği kadar yaygınlaşamamıştır.

1.6.1.4. DVB-T2 Lite

DVB 2011 yılında mobil televizyon gibi daha hafif uygulamalar için popüler DVB-T2 karasal standardı için yeni bir profil tanıtmıştır: T2-Lite. Bu profil geleneksel sabit alıcılar tarafından da alınabilmesine rağmen, mobil yayıncılık gibi çok düşük kapasiteli uygulamalar için daha basit alıcı uygulamalarına izin vermeyi amaçlamaktadır. T2-Lite, T2-temel profilinin modlarının sınırlı bir alt kümesine dayanır ve en fazla karmaşıklık ile bellek gerektiren modlardan kaçınarak, çok daha verimli alıcı tasarımlarının kullanılmasına olanak tanımaktadır. T2-Lite için olası bir kullanım, aynı hizmetin iki farklı sürümünün, farklı bit hızları ve koruma düzeyleriyle eşzamanlı olarak yayınlanmasını sağlar ve bu da kenar

alanlarda daha iyi alıma olanak tanır (DVB, 2011). DVB-H'de olduğu gibi mobil ağ teknolojileri geliştikçe istenilen verimi yakalayamayan bir sistem olmuştur.

1.6.1.5.DVB-I

İster kablolu, ister uydu ister karasal olsun, geleneksel dijital televizyon hizmetlerinde, alıcı, yayınladıkları kanallar hakkında sinyalleme bilgisi taşıyan bir veya daha fazla multiplekse ayarlanmaktadır. Bu, esasen hizmetleri belirli dağıtım sistemleriyle sınırlamıştır. Kanalların bazılarının veya tamamının geniş bant[2] bağlantısı üzerinden, potansiyel olarak açık internet üzerinden iletilmesi fikrinden DVB-I ortaya çıkmıştır (Cooper, 2022).

DVB-I, geniş bant erişimli cihazlara internet üzerinden hizmetler sunan standarttır. Yayınlar için DVB-T/C/S'nin yaptığını DVB-I, IP servisleri için yapmaktadır. Hizmetler standart bir şekilde işaretlenir ve dağıtılır, bu nedenle belirli bir uygulama gerekli değildir. Alıcı, DVB-I ve yayın hizmetleri dahil olmak üzere entegre bir hizmet ve içerik listesi sunabilir. Yayıncılar ise bir hizmeti çok çeşitli cihazlara bir kez dağıtabilir (Lanigan, 2021, s. 6).

DVB-I, dağıtım ağından bağımsız olarak bant dışında mevcut hizmetleri tanımlayabilen bir çevrimiçi dizin sistemi belirleyerek yayın ve geniş bant yakınsamasını sağlamaktadır. Uyumlu bir cihaz veya uygulama, yaygın olarak benimsenen web protokollerini kullanarak ülkeye, dile, türe, sağlayıcıya veya cihaz özelliklerine göre mevcut hizmetlerin bir listesini veya listelerini talep edebilir. Bunlar, ilgili hizmetlere veya uygulamalara erişmek ve sağladıkları programlar hakkında daha fazla bilgi almak için kullanılabilmektedir (Cooper, 2022).

DVB Projesi Teknoloji Başkanı Emily Dubs, "Bu bir aktarım standardı değil," diye vurgulayıp "Bu teslimatla ilgili değil. Bu, farklı ağlar üzerinden dağıtılan hibrit hizmetleri uyumlu hale getirmenin bir yolu olan keşif şeklidir." demiştir. Bu yaklaşım, gelişmiş ses ve video kalitesi hizmetleri sağlamak için kablo, uydu veya hava yoluyla alınan yayın kanallarını sorunsuz bir şekilde entegre ederek tutarlı bir kullanıcı deneyimi sağlamaktadır. Hem ücretsiz hem de abonelik modellerini kolaylaştırır. Ayrıca talep üzerine sunulan

[2] Geniş bant, ağ bağlantıları üzerinden ses, görüntü ve diğer verilerin çok yüksek hızlarda iletimini sağlayan gelişmiş sistemler olarak tanımlanır.

hizmetleri de desteklemektedir. Telefonlar ve tabletler gibi geleneksel bir televizyon alıcısı olmayan cihazların tanıdık kanal modelini kullanarak görsel-işitsel hizmetlere erişmesini sağlayabilmektedir. DVB Başkanı Peter MacAvock ise "Birçok sağlayıcının farklı ekosistemlerde hizmet sunmasına izin verdiği için standardizasyonu sektöre büyük bir fayda olarak görüyoruz. Arkasında çok fazla roket bilimi yok ama etkileri çok geniş kapsamlı." demiştir (Cooper, 2022).

Televizyonlar ve mobil cihazlar bizi gerçekliğe daha da yaklaştıran gelişmiş görüntüleme deneyimlerini üretme kabiliyetine sahiplerdir. Ancak bazı daha büyük akış ve ödemeli televizyon hizmetleri bu yeni özelliklerden hâlihazırda yararlanabilmiş olsa da, yayıncıların, özellikle sıkışık karasal ağlar üzerinde yenilik yapmak için spektrum bulmaları daha zor olabilmektedir. DVB-I, yayıncılara açık, platformlar arası bir yaklaşımla esnek geniş bant dağıtımından yararlanarak yeni gelişmiş televizyon hizmetleri geliştirmeleri için çözüm sunar (Saunders, 2021, s.57).

DVB-I, genellikle internet içeriğini izlemekle ilişkilendirilen interaktif etkileşim düzeyini televizyon dünyasına getirebilir. En basit haliyle, bu bir dil seçimi, yönetmen yorumu ekleme seçeneği veya çocuklar için daha uygun bir diyalog versiyonu seçme olabilir.

Hibrit platformlar içerik değiştirme yeteneğine sahiptir. Genellikle bu tür bir işlevin tipik bir kullanımı, belirli bir yerde bir izleyiciye diskten veya bir IP akışından kaynaklanan farklı bir reklam gösterilebildiği hedefli reklamcılıktır. Bu teknoloji, bir kanalın içeriğinin hedefli tanıtımı için veya hatta yerel haberler ve bilgiler için de kullanılabilir. Hibrit platformların doğal avantajları, DVB-I gibi teknolojilerin yaygın olarak uygulanmasıyla daha da genişletilecektir. Her türden cihazda tutarlı bir kullanıcı arayüzüne olanak sağlayabilir ve her cihazın, karasal, uydu, kablo, geniş bant veya 5G olsun, herhangi bir anda mevcut olan en iyi veya en uygun kaynağı kullanmasına olanak tanımaktadır. DVB-I gibi teknolojiler, multiplekslerin ve çevrimiçi hizmetlerin oluşturulma biçiminde dinamik yeteneklerden yararlanabilecek, açılır servislerin oluşturulmasına, içeriğin yayın ve IP sürümlerine geçiş yapılmasına ve içeriğin birleştirilmesine olanak tanıyacaktır (Saunders, 2021, s.57).

Bu nedenlerle DVB-I, şu anda milyarlarca kullanıcının yararlandığı mevcut hizmetleri, mevcut herhangi bir ağla çalışan internet özellikli bir geleceğe dönüştürmenin bir yolunu sunmaktadır. Belirgin bir şekilde, mevcut iletim sistemlerinde değişiklik gerektirmeden bunu desteklemektedir. Dolayısıyla DVB-I, yeni nesil altyapıya büyük bahisler konulmasına gerek kalmadan hibrit hizmetlere evrimsel bir geçiş sağlamaktadır. İngiltere'deki İletişim Ofisi (OFCOM) gibi düzenleyiciler, DVB-I'nin potansiyeli konusunda

olumlular, ancak teknolojiye bir kazanan seçme eğiliminde değiller ve bunu piyasaya bırakmayı tercih etmektedirler. Yayıncılar ise büyük çok uluslu medya şirketlerininkiler de dahil olmak üzere diğer yayın dışı hizmetlerle doğrudan rekabet etmek yerine mevcut konumlarını korumaya istekli olabilirler. Bu anlamda, düzenlenmiş hizmet listeleri, kullanıcıların hizmetlerine çeşitli cihaz ve ekranlardan erişebilmelerini sağlayarak stratejik avantajları sağlayabilirler (Cooper, 2022).

BÖLÜM 2

GÖRÜNTÜDE ÇÖZÜNÜRLÜK VE SIKIŞTIRMA TEKNOLOJİLERİ

Yüksek çözünürlüklü video, isteğe bağlı video ve görüntü hizmetlerine olan talebin arttığı yayıncılık endüstrisinde yüksek çözünürlüklü video iletimi bir standart haline gelmektedir. Bu nedenle, video sinyallerini kodlamak için verimli dijital sıkıştırma tekniklerinin kullanılması esastır. Video ve ses sinyallerini verimli bir şekilde teslim etmek için son birkaç on yılda önemli araştırmalar yapılmıştır. (El-Hajjar & Hanzo, 2013, s. 3).

Kaynak kodlama, bir kamera tarafından yakalanan bir analog video/ses sinyalini dijital bir sinyale dönüştürme ve dijital sinyali düşük bir veri hızında iletim için uygun şekilde sıkıştırma işlemidir. Dijital televizyonda video kodlaması, yüksek kaliteli video sinyallerinin iletimi için ve aynı zamanda iletim gücünü azaltmak için gereken bant genişliği miktarını azaltmaktadır. Video kodlama teknikleri, aktarım hızını azaltmak için gereklidir, ancak bu, objektif video kalitesinin bozulmasına neden olabilir. Bu durumun insan gözü tarafından algılanmamasını sağlamak için sıkıştırma algoritmalarının dikkatli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir (El-Hajjar & Hanzo, 2013, s. 3).

2.1.Yayıncılıkta Görüntü Kalitesi

Yayıncılıkta görüntünün iletimi ve işlenmesi sırasında oluşabilecek bozulmaların algılanmasına dayalı kriterler görüntü kalitesini belirler. Bu durumlar sonucunda ortaya çıkabilecek görüntüde kayma, bulanıklık, piksellenme gibi düşük kaliteye neden olan sorunlar izleyici memnuniyetini de düşürmektedir.

Daha büyük, daha keskin görüntüler, bir ekrana aynı anda daha fazla piksel sığdırmayı gerektirir. Son on yılda, yüksek çözünürlüklü ekran çözünürlüğü 1920x1080 olarak kabul edilmektedir. 4K ekranlar artık televizyon veya bilgisayar monitörü olarak evlere girmeye başlamıştır ve çözünürlük teknolojisinin ön saflarında 8K yer almaktadır (Video Clarity, n.d.).

Yayıncılıkta görüntü kalitesi çözünürlük ile belirlenir. Televizyon yayıncılığında 576x720 ile başlayan SD çözünürlük, HD ile 1920x1080, UHD ile 3940x2160 seviyelerine ulaşmıştır. 4K terimi, projeksiyon tekniğinden gelmekle birlikte UHD seviyesindeki

çözünürlük için kullanılmaktadır. Günümüzde 4K uygulamalar çokça kullanılmaktadır. Yeni nesil cihazlarda 8K dönemine hatta 12K dönemine geçiş planlanmaktadır. Örneğin, 2020 (2021'de yapılmış olan) Tokyo Olimpiyatları'nın yayıncı kuruluşu Japon NHK kanalı, yayınlarını 8K donanımla gerçekleştirmiştir. Araştırma ve prototip aşamasında 32K çözünürlüklere kadar ulaşılmıştır (Video Clarity, n.d.).

Teknoloji liderleri, hem yeni üretim yöntemlerini benimseyerek hem de mevcut iş akışlarıyla uyumluluğu göz önüne alarak gelişmiş görüntü kalitesini gelecekte ele alınması gereken bir sorun olarak görse de, önde gelen kuruluşların çoğu, mevcut mühendislik uygulamaları üzerinde etkisi olduğu için bu teknolojileri yıllardır test etmektedir. Günümüzün 8K test sonuçları, gelecek nesil hizmetler için önemli iş kararlarına rehberlik etmeye yardımcı olacak değerli girdiler sağlamaktadır. Bu sistemler ve ürünler her bir pazarı etkilemeye devam ettikçe, video kalitesi testi ve değerlendirmesi, hem işleme teknolojisi performans karşılaştırmaları hem de satıcı seçimi için önemli olmaya devam edecektir (Video Clarity, n.d.).

Yüksek çözünürlüklü videoyu elde etmek için gerekli üç adet bileşen bulunmaktadır:

- **Yüksek çözünürlük (HR)**

Bu temelde bugün HDTV dağıtımı için kullandığımızdan daha yüksek çözünürlüğe sahip herhangi bir kavramdır, yani 720p, 1080i ve 1080p formatlarını içermektedir (Björkman, 2013, s.9).

- **Yüksek Kare Hızı (HFR)**

Kare hızı saniyede iletilen görüntü sayısını ifade ederken fps ile gösterilmektedir. Görüntü çözünürlüğünü artırırsak, teori olarak kamera hareketiyle başa çıkmak için kare hızını da artırmamız gerekmektedir. Örneğin 4K çözünürlükleri ile kare hızının en az 50 fps olması gerekmektedir. Dolayısıyla, yeni bir video formatı, daha iyi hareket tasviri sağlamak için mevcut kare hızları setini 100, 120 ve hatta 150 fps'ye çıkarmalıdır (Björkman, 2013, s.9).

- **Yüksek dinamik aralık (HDR)**

Yüksek dinamik aralık, geleneksel bir televizyonda bulacağınızdan daha büyük bir dinamik aralık anlamına gelmektedir. Çözünürlük, yüksek teknolojili ve etkileyici olması nedeniyle televizyon veya ekran satmak için kullanılan en yaygın özelliklerden biridir. Ancak çözünürlük, görüntü kalitesinde en önemli bileşen değildir. Bir televizyonun diğerinden daha yüksek çözünürlüğe sahip olması, her zaman daha iyi göründüğü anlamına gelmez. Daha iyi HDR performansına, daha iyi bir genel kontrast oranına veya daha iyi renge sahip bir televizyon, yalnızca daha fazla piksele sahip olan bir televizyondan daha iyi görünecektir. HDR, yüksek çözünürlükten çok, daha fazla algılanabilir görüntü kalitesi iyileştirmesi sağlamaktadır. HDR, ekranın en parlak ve en karanlık bölgeleri arasındaki kontrast oranını artırır, bu da görüntü kalitesi için yapılabilecek en faydalı şey olarak kabul edilmektedir (Bale, n.d.).

Tarihsel olarak televizyon endüstrisi, ekrandan 80 cd/m2[3] yoğunlukta yayılan tam beyaz bir hedefle çalışmıştır. Ancak günümüzün modern ekranları, ekranın küçük kısımları için çok daha yüksek yoğunluk olasılığına sahiptir. Yeni bir video formatı, dinamik aralığı artırmak için bunu kullanabilir ve renk derinliği için en az 10 veya 12 bit kullanabilir. Bu denklem, ekranların HDTV'de kapsandığından daha fazla renk sunma yetenekleriyle genişletilebilir (Björkman, 2013, s.9).

HDR içeriği ise HDR'yi bir bütün olarak yapmanın anahtarıdır. Örneğin, basit bir gün batımı sahnesi ele alınırsa:

[3] Metrekare başına kandela olarak bilinmektedir. Kandela, ışık yoğunluğu ölçü birimidir.

Şekil 2.1

HDR İçin Fotoğrafta Gölge Örneklendirmesi. Morrison, Instagram



Normal bir televizyonda, televizyona her parlaklık seviyesinin ne olması gerektiğini söylemek için 8 bit vardır. Bu biraz fazla basitleştirilirse, Şekil 2.1'deki resimde gölgedeki kenarlar 1 ila 3 parlaklık seviyeleridir. Deniz yansımaları 4 ila 6 seviyeleri arasında, gökyüzü 7 ve güneşin kendisi 8 seviyesidir. Basamakların burada çabuk tükendiği görülmektedir. HDR 10 bittir ve verilen örnekte iki adıma daha izin verir. Yani demo sahnedeki, güneşi 10'da, güneş ışınlarını 9'da, gökyüzünü 7-8'de vb. alabileceğiniz anlamına gelmektedir (Morrison, 2016).

Gerçekte ise 8 bit 256 renk (üç ana rengin her biri için) ve 10 bit 1024 renk anlamına gelmektedir. Daha fazla gölge, gerçekten parlak olması gereken şeyi zorlamak için daha fazla boşluk payı anlamına gelmektedir. Ayrıca, görüntünün parlak ve karanlık kısımlarında daha fazla ayrıntı anlamına gelmektedir. Böylece HDR ile televizyonların parlaklık aralığı daha büyük ve içerik bundan yararlanmak için kullanılabilir hale gelmektedir. Aynı zamanda daha fazla renk anlamına gelir (Morrison, 2016).

2.1.1. SD (Standard Definition) Görüntü Teknolojisi

Standart tanımlama, analog televizyon yayın standartlarından PAL, SECAM ve NTSC tarafından yoğun olarak kullanılmakta olup PAL ve SECAM standartları 576i ve NTSC standardı ise 480i geçmeli tarama (interlaced) yöntemlerini desteklemektedir. 480i, 480p, 576i ve 576p formatları standart tanımlı formatlar olarak bilinmektedir. SD yayınlar, başlangıçta 4:3 çerçeve oranını kullanmıştır ancak sonrasında 16:9 çerçeve oranını da desteklemeye başlamıştır (Akar, 2017, s.123).

Tablo 1

Geçmeli Tarama SD Görüntü Formatları.

Format	Yatay Piksel	Dikey Piksel
480i / 4:3	704/720	480
480i / 16:9	704/720	480
576i / 4:3	704/720	576
576i / 16:9	704/720	576

Sayısal Televizyon Yayıncılığında Sıkıştırma Teknolojileri ve Uygulamaları. Akar, 2017, s.123.

SD dijital video sinyalinin sıkıştırmasız biçimi için de farklı standart tanımlamaları vardır. Analog sistemlerdeki, farklı coğrafi alanlarda farklı yayın sistemleri kullanımından meydana gelen uyumsuzlukları engellemek için bitrate adında veri oranının belirleyici olduğu standartlar tanımlanmıştır. SD video sinyalleri için 270 Mbps veri oranı veren ve SMPTE 259M-C olarak adlandırılan standart, en yaygın olanıdır ve SD dijital sinyalin seri iletim adı verilen her bir sayısal ‘bit’ sinyalinin arka arkaya iletildiği formattır. Bu format SDI (Serial Digital Interface) olarak tanımlanmaktadır. ITU standartlarında bunun karşılığı ise ITU-R.BT-656 olarak tanımlanmıştır (Tektronix, 2009).

2.1.2. HD (High Definition) Görüntü Teknolojisi

SD döneminden sonra ondan daha kaliteli görüntü sağlayabilen 16/9 çerçeve oranlı yüksek tanımlamalı HD televizyon dönemi başlamıştır. Sayısal video tanımlamalarında, satır sayısı, çerçeve/alan sayısı, geçmeli/geçmesiz (interlaced/progressive–i/p) özelliği, çözünürlük bilgisi kullanılarak video ile ilgili tüm detaylar paylaşılmış olur. Örnek olarak, 1920x1080 50i ifadesi ile 50 alanlı geçmeli taramalı 1920x1080 çözünürlüklü bir video sinyali anlaşılmaktadır (Altın, 2021, s.10).

Birkaç yüksek tanımlı HD video formatı vardır ve en yaygın olarak kullanılanları Tablo 2'de gösterilmiştir. 1080 satırda satır çözünürlüğü 1920 olurken; 720 satır formatında satır çözünürlüğü 1280 olmaktadır. Her iki format için de iletimde kullanılan 1485 Gbps veri oranıdır. 1080 satır için SMPTE 274M standardı, 720 satır için ise SMPTE 296M standardı örnekleme detaylarını belirleyen standartlardır ve HD-SDI adı verilen ve HD sinyallerin seri iletim standardını belirleyen standart SMPTE 292M olarak tanımlanmıştır. Çok fazla standart tanımlaması olmakla birlikte endüstri de en çok kullanılanları ve de uyumluluk anlamında belirleyici olanlar bunlardır (Altın, 2021, s.10).

Tablo 2

HD Görüntü Formatları

Format	Kademeli/Geçmeli	Yatay piksel	Dikey piksel	Çerçeve/Alan:sn
720p	Kademeli	1280	720	25 çerçeve
1080i	Geçmeli	1920	1080	50 alan:sn
1080p	Kademeli	1920	1080	25 çerçeve

Investıgatıon of Resource Usage and Video Quality With Different Formats in Video Broadcasting. Shamaya, 2014, s.11.

2.1.3. 3DTV

İnsan gözünün oluşturduğu görüntülerde derinlik bilgisi yer almaz, yani monoskopiktir. İki gözümüzün arasında bulunan mesafe farkı beynimize farklı görüntüler gitmesine sebebiyet vermektedir. Beyin ise bu farklı iki görüntüyü işleyerek bir derinlik algısı inşa eder. Görüntü teknolojilerinde de derinlik algısını yaratmak için aynı mantıkla iki göze farklı görüntülerin gösterilmesi amacı vardır (Şenol, 2019, s.27).

3D/Stereoskopik sinema, televizyon, oyun ve çeşitli 3D taşınabilir cihazlar günümüz dünyasında zamanla anlam kazanmıştır. Ancak 3D videoların Deneyim Kalitesini (QoE) araştırmak karmaşık ve çok disiplinli bir sorundur. 3D video kalite değerlendirmesi için derinlik algısı, daldırma ve doğallık gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

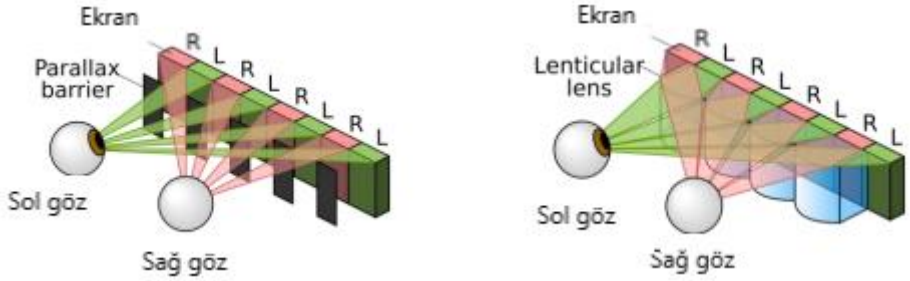
Derinlik haritası kullanarak iki boyutlu görüntüden üç boyutlu bilgi çıkarmak için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. H.264'ün bir uzantısı olan Çoklu Görüntü Kodlaması (MVC) adı verilen yöntemle 3D videonun iletimi ve depolanması gerçekleşmektedir (Arun Kumar & Chandramathi, 2014, s.777).

Otostereoskopik 3DTV

İzleyicilerin herhangi bir özel gözlük kullanmasına gerek olmayan bu televizyonlarda, ışığın örtülmesi veya ışığın kırılması yöntemleri ile iki göze farklı görüntüler gönderilmektedir. Işığın örtülmesi paralaks bariyerle, kırılması ise lentiküler lens ile gerçekleşmektedir. Tridelity ML4210va 1920x1080 çözünürlüğünde, 42 inç büyüklüğünde, çok izleyicili, paralaks bariyer teknolojisini kullanan otostereoskopik bir ekrandır. Bu ekran, beş YUV dosyasının multiplekslenmesiyle beş izleme bölgesi oluşturur. Multipleksleme yazılımı, paralaks bariyerin tasarımı Tridelity'ye ait fikri mülk olduğu için, Tridelity'den alınan destek ile OpenCV kullanılarak geliştirilmiştir (Şenol, 2019, s.27).

Şekil 2.2

Otostereoskopik 3DTV Teknolojileri. HEVC Formatlı Çok-Bakışlı Videolarda Otostereoskopik 3DTV'ler İçin Algısal Kaliteyi Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. Şenol, 2019, s.27



Video sıkıştırma sistemleri, dijital kameralar, cep telefonları gibi tüketici elektronik cihazlarından video telekonferans sistemlerine kadar birçok ticari üründe kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu uygulamalar, video sıkıştırma donanım cihazlarını birçok ticari ürünün kaçınılmaz bir parçası haline getirmektedir (Şenol, 2019, s.27).

2.1.4. 4K / UHD

4K çözünürlük spesifik olarak, 3840x2160 çözünürlükte olup 8,3 milyon toplam piksel vermektedir, bu da 1080p'nin 4 katı büyüklüktedir.

DVB CM-AVC grup başkanı Jason Power'ın öngörülerine göre 2024 yılında 4K hizmetleri başlangıçta yavaş olsa da karasal ağlar da dâhil olmak üzere birçok pazarda kullanılacaktır. Hem en büyük karasal pazarlar hem de DVB-T2 hizmetlerinin sahip olduğu pazarlar, izleyicilere özellikle spor ve filmler için daha geniş bir 4K UHD hizmetleri yelpazesi sunabilecektir (Power, 2021, s.8).

UHDTV ise Japan Broadcasting Corporation tarafından önerilen yeni bir formattır. Popüler olarak sadece 4K terimiyle bilinir ve standardizasyonunun başlangıcından bu yana aşağıdaki görüntü çözünürlükleri önerilmiştir:

- 3840x2160. HD çözünürlüğünün 4 katı olan 4K formatı da denmektedir (Eskenazi & Perez, 2020, s. 3).

- 7680x4320. 16 katı HD çözünürlükte 8K formatı olarak da adlandırılır. Bir dakikalık sıkıştırılmamış görüntü, 194 gigabayt tüketir; bu da 2 saatlik tam uzunlukta filmin yaklaşık 25 terabayt depolama kullanacağı anlamına gelmektedir (Punchihewa, 2011, s.7).

Bu çözünürlükler daha sonra ITU ve Sinema ve Televizyon Mühendisleri Derneği (SMPTE) tarafından UHDTV olarak standartlaştırılmıştır. ITU, her iki çözünürlük için de UHDTV terimini belirlerken, SMPTE, 3.840x2.160 çözünürlüğü UHDTV-1 ve 7.680x4.320 çözünürlüğü UHDTV-2 olarak belirleyerek aralarında ayrım yapmaktadır (Eskenazi & Perez, 2020, s. 3).

UHDTV tarafından görüntülenen görüntü beş unsura dayanmaktadır: uzamsal çözünürlük, zamansal çözünürlük, renk derinliği, renk alanı ve dinamik aralık (Björkman, 2013, s.9; Eskenazi & Perez, 2020, s. 3).

- Uzamsal çözünürlük: Uzamsal çözünürlük, bir görüntünün piksel boyutlarını, yani bir görüntünün yüksekliğini ve genişliğini oluşturan piksel sayısını belirtir. Daha fazla gerçekçilik hissi vermek için dikkate alınan ilk husus, ekranın kapsadığı görsel alandır (Eskenazi & Perez, 2020, s. 3).
- Zamansal çözünürlük: Zamansal çözünürlük, her saniye ekranda görüntülenen görüntü sayısını ifade etmektedir. Görüş alanının büyütülmesi aynı zamanda görüntünün hareketinin ekrandaki temsilini de etmektedir ve hareket bulanıklığı ve/veya görüntü titremesi oluşturmak mümkündür. Bu parametrenin limiti olarak UHDTV için 120 Hz alan frekansı oluşturulmasına karar verilmiştir (Goto vd., 2014).
- Renk derinliği: Renk derinliği, sayısallaştırıldığında video sinyalini kodlamak için kullanılan niceleme seviyelerini, yani her pikselin bilgisini tanımlamak için kaç bit atandığını göstermektedir. Piksel başına bit sayısı ne kadar yüksek olursa, görüntünün kalitesi de o kadar yüksek olmaktadır. SD ve HD dijital televizyonda, renk derinliği örnek başına 8 bit ile temsil edilmektedir, ancak bunlar şu anda UHDTV için önerilenden daha az bir renk alanı kullanır, bu nedenle UHD'de renkleri temsil etmek için 8 bit kullanıldığında, Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi bant efektinin görünmesi mümkündür (Eskenazi & Perez, 2020, s. 5).

Şekil 2.3

Görüntüde Bant Efekti. Televısıón Digital 4K. Eskenazi & Perez, 2020, s.5



UHDTV'de kodlamaya 12 bit parametresinin maksimum seviye ve minimum 10 bit olarak eklenmesine karar verilmiştir. Sadece 16.78 milyon farklı renge izin veren 8 bitlik bir renk derinliğine kıyasla, numune başına 10 bit ile 1.07 milyon farklı renk üretmek mümkündür ve 12 bit ile 68.7 milyon renk üretmek mümkündür (Eskenazi & Perez, 2020, s. 6).

- Renk alanı: Renk alanı üç ana renk olan kırmızı, yeşil ve mavinin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu nedenle, UHDTV ile gerçeğe mümkün olduğunca yakın bir deneyim oluşturmak istendiğinde, HDTV'ye göre ekranda temsil edilebilecek renk aralığını genişletmek gerekmektedir (Bo vd., 2018).
- Dinamik Aralık: Dinamik aralık, bir görüntünün en açık ve en karanlık kısmı arasındaki ton farkı aralığıdır. Dinamik aralığı tanımlamanın başka bir yolu, video sinyalindeki parlaklık seviyelerinin değiştiği aralıktır. Kontrast ve renk kavramları dinamik aralıkla yakından ilişkilidir (Garcia, 2017). Kontrast, bir görüntünün kalitesindeki en önemli faktörlerden biridir ve aydınlık ile karanlık arasındaki farkı, parlaklığın değişimini ifade etmektedir. Bu fark ne kadar büyük olursa, kontrast da o kadar büyük olur. Buna zıt olarak dikkate alınması gereken iki belirleyici nokta vardır: en parlak seviye ve siyah seviye (Bae vd., 2013).

Doğada, HD televizyon ekranlarıyla görüntülenmesi mümkün olandan daha geniş bir renk yelpazesi ve parlaklık yoğunluğu mevcuttur, bu nedenle önceden önerilen renk aralığı gösterimi, HD televizyonu kullanmak için uygun değildir. Bu nedenle, 4K televizyon için önemli iyileştirmeler geliştirilmiştir: daha parlak beyazlar, daha koyu siyahlar ve daha

parlak renkler oluşturmanın mümkün olduğu daha geniş bir dinamik aralığın kullanılmasından oluşan HDR, parlakta daha fazla ayrıntıya izin verir. Standart bir dinamik aralık (SDR) bu görüntü özelliklerini elde edemez (Bae vd., 2013).

Başka bir çerçevede değerlendirildiğinde, bu teknolojinin gelişimi, çevreye zararlı miktarlarda hiçbir maddenin dahil olmaması nedeniyle çevre için çok kirletici değildir. Ancak bu formatı kabul eden cihazların üretiminde plastik gibi yüksek miktarlarda agresif olan maddeler söz konusudur. Bu nedenle, bu standartla ilişkili elektronik ekipman endüstrisi, bu maddelerin kullanımı ve geri dönüşümü için düzenlemeler sunmaktadır. Benzer şekilde, bu tür bir sinyalin iletimi, uygun kontrol olmadan çevreye ve hayata zarar verebilecek bir elektromanyetik dalga emisyonudur. Bu nedenle, olumsuz etkilerine karşı bu sinyallerin iletilmesi için düzenlemeler ve standartlar da oluşturulmuştur. Öte yandan, doğa çalışmalarına katkı sağlayan doğa olaylarını kaydetmek için bilimsel kameralarda 4K çözünürlük kullanılabilir (Eskenazi & Perez, 2020, s. 8).

Haziran 2021'in başında Polonya televizyonu Telewizja Polska, UEFA Avrupa Futbol Şampiyonası Euro 2020'yi gösteren TVP 4K kanalını UHD kalitesinde başlatmıştır. Kanal, tüm turnuva boyunca yayın yapmıştır. UHD/4K ekranlı televizyonlara sahip izleyicilerin şampiyona sırasında oynanan tüm maçları (canlı yayınlar ve yeniden yayınlar), maç öncesi/sonrası şovları ve diğer yayınları izlemesine izin vermiştir. TVP 4K, Polonya nüfusunun %90'ını kapsayan yeni DVB-T2/HEVC sayısal karasal televizyon yayın sisteminin daha geniş test yayınlarının bir parçası olarak yayınlanmıştır. Bu benzeri görülmemiş deneysel yayının amacı izleyicileri yeni DTT yayın sistemine yapılacak geçişe teknolojik olarak hazırlamaktır. TVP 4K'da gösterilen tüm eşleşmeler, saniyede 50 kare aşamalı tarama ile 3840x2160 piksel çözünürlükte yayınlanmıştır (Klepacki, 2021,s.10). Ülkemizde ise TRT Kurumu 4K yayınlarını gerçekleştirmektedir.

2.1.5. 8K

8K çözünürlük 7680×4320 (33.2 milyon) piksel, yani 1080p'nin 16 katı büyüklüktedir (TCL, 2020). 8K video hizmeti dağıtımını son kullanıcılara ölçeklendirmek, daha verimli video kodek bileşenleri gerektirecektir. Bu, hem yayın (DVB-S2/C/T2) hem de geniş bant iletimi için geçerlidir. DVB, 8K çözünürlüklerini desteklemek için mevcut HEVC kodek bileşeni profillerini de genişletmektedir (Power, 2021, s.8).

Şekil 2.4

Yayın Formatlarının Karşılaştırılması.4K vs 8K | What Difference Does an 8K TV Make? TCL, 2020



Uydu operatörü ve DVB Üyesi SES, 2018 yılında DVB-S2X üzerinden 8K hizmetinin sunumunu sergileyerek yıllık Endüstri Günleri konferansını kutlamıştır. Standart, Kore'de 8K testleri için kullanılmıştır. DVB-S2X'in sağladığı gelişmiş verimliliklerden yararlanan hizmet, 7680×4320 piksel video çözünürlüğüne sahip tek bir 36 MHz transponder üzerinde gerçekleştirilmiştir. Video HEVC'de kodlanıp ve 80 Mbit/s hızında, 4K sinyalden dört kat daha yüksek bir hızda iletilmiştir. SES Video'da Yeni Teknoloji ve Standartlardan Sorumlu Başkan Yardımcısı Thomas Wrede konuyla ilgili: "8K, günümüzde mevcut olan video kodekleriyle zorlu olmaya devam etmekte ve tüketici evlerine girişten birkaç yıl uzak olsa da, bu deneme uyduların artık 8K sinyallerini taşıyabildiğini gösteriyor." demiştir (DVB, 2018).

DVB Yönetim Kurulu, 2021 kasım ayında 8K UHD video hizmetlerini ilk kez sunup yeteneklerini tanıtan özellik güncellemelerini onaylamıştır. HEVC kodek bileşeni için mevcut desteği genişleten bu güncellemeler, DVB video kodlama özellikleri için planlanan bir dizi önemli eklemenin ilk adımıdır. Bunlar, DVB'nin yayın ve geniş bant yoluyla yeni nesil televizyon hizmetlerinin sunumu için en kapsamlı ve esnek araç kutusunu sağlamaya devam etmesini sağlayacaktır. H.265 olarak da bilinen Yüksek Verimli Video Kodlama'nın

(HEVC), önceki MPEG-4/AVC ile karşılaştırıldığında aynı video kalitesinde %25 ila %50 daha iyi veri sıkıştırması sunan bir standart olduğu görülmüştü. Halihazırda dünya çapında birçok pazarda da kullanılmaktadır. Yalnız şimdiye kadar, DVB spesifikasyonları yalnızca 4K çözünürlüğe kadar HEVC uygunluk noktalarını içeriyordu (DVB, 2022).

Uzun vadede, 8K video dağıtımını son kullanıcılara ulaştırmak için, daha da verimli video kodek bileşenlerinden faydalanılacaktır. Bu, 2022'de DVB spesifikasyonlarına daha fazla eklemeye yol açması beklenen Yeni Nesil Video Kodlama üzerindeki mevcut DVB çalışmasının bir hedefidir. 8K videoyu destekleyen bir HEVC uygunluk noktasının erken kullanılabilirliği, dağıtımlar için esneklik sağlayacak ve hizmet birlikte çalışabilirliğini en üst düzeye çıkaracaktır (DVB, 2022).

Kamera kullanımında ise Sony, geçen yıl Venice 2'yi piyasaya sürmüştür. Orijinal 6K Venice sensörünün yanı sıra yeni geliştirilmiş tam çerçeve 8.6K sensöre sahiptir. Şirket, özellikle yüksek kontrastlı ve büyük ölçekli Crystal LED ekranlarıyla birlikte kameranın görsel efekt (VFX) ve sanal prodüksiyon kurulumlarında sanal gerçeklik (VR) için çok uygun olduğunu eklemiştir. Netflix de orijinal yapımlarını çekmek için onaylanan kameralar listesine Sony'nin amiral gemisi Venice 2 8K kamerasını eklemiştir (Priestley, 2022).

8K televizyon kullanımının yaygınlaşması konusunda ise teknoloji piyasası danışmanlık firması ABI Research'e göre, Covid-19 düz panel ekran satışlarını engellemiştir. ABI Research'te Endüstri Analisti Khin Sandi Lynn: *"*2020 Yaz Olimpiyatları için planlanan 8K yayın içeriği göz önüne alındığında, 8K TV pazarında çok fazla büyüme beklentisi vardı. Ancak 2020 Olimpiyatlarının ertelenmesi, genel ekonomik gerilemeyle birleştiğinde, 2020'de düşük 8K TV ünitesi sevkiyatına neden oldu." diye açıklamıştır (Broadband Tv News Correspondent, 2020).

Zorluklara rağmen, düz panel üreticileri 8K televizyon setlerini tanıtmaya devam etmiştir. Samsung ve LG gibi üst düzey televizyon üreticileri, daha yüksek gelir ve kar marjı elde etmek için 8K televizyon ünitelerinin satışlarını artırmayı hedeflemektedir. Ancak tüketiciler pandeminin ekonomik zorluklarıyla mücadele ettiğinden, medya cihazları satın alma öncelikleri değişmiştir. Satış hacimlerini artırmak için Samsung'un 8K TV setleri fiyatlarında görüldüğü gibi, satışları artırmak için son derece rekabetçi fiyatlandırma esastır (Broadband Tv News Correspondent, 2020).

Jason Power 2024 yılında tam 8K çözünürlük sunan ve hem yayın hem de geniş bant ağlar üzerinden içerik almak için arayüzlere sahip televizyon setlerinin yaygınlaşacağını, aynı zamanda 4K veya 8K'da SD, HD veya UHD olsun, program rehberinde gösterilen tüm

hizmetler arasında sorunsuz bir şekilde geçiş yapılabileceğini değerlendirmiştir (Power, 2021, s.8).

Dünya çapında sadece 350.000 8K televizyonun satıldığı 2020'ye rağmen Strategy Analytics'in son tahminlerine göre 8K televizyonların kurulu olduğu hane sayısının 2025 yılına kadar 72 milyona ulaşması beklenmektedir. Strategy Analytics'in tahmin modelleri, 2022'de yaklaşık 4 milyon 8K televizyon satışına işaret etmektedir (Clover, 2021).

Connected Home Devices Direktörü David Watkins'e göre ise "Uzun vadeli 8K TV'nin benimsenmesi, nihayetinde panel tedariki ve sürekli olarak daha büyük ekran boyutlarına geçişe bağlıdır. 4K'da gördüğümüz gibi, panel üreticileri finansal açıdan mantıklı olur olmaz tüm üretim hatlarını 8K'ya geçirecekler." Watkins ayrıca ultra geniş ekran televizyon satın almak isteyen herkesin 8K olmayan bir televizyon bulmakta giderek daha zorlanacağına inanmaktadır (Clover, 2021).

2.1.6. Video Formatlarının Karşılaştırmaları

HD formatın, SD formata kıyasla daha büyük bir sıkıştırılmamış depolama alanı ve iletim hızına gereksinimi vardır. SD video saniyede (720×576×25=10368000) görüntülenen piksele sahiptir. 720p HD video saniyede (1280×720×25=23040000) görüntülenen piksele sahiptir ve en üst noktada 1080p HD, (1920×1080×25=51840000) görüntülenen piksele sahiptir. Sıkıştırılmamış videodaki bu çözünürlükler, büyük depolama veya yüksek çözünürlüklü, çok büyük depolama veya aktarım kapasitesine sahip büyük aktarım kapasitesi gerektirir; bu nedenle pratik uygulamalarda video için önemli bir sıkıştırma gereklidir (Shamaya, 2014, s.11). Şekil 2.4'te de görüldüğü gibi her yeni görüntü teknolojisi bir öncekinden dört katı piksel sunmaktadır.

2.1.7. Ekran Kullanımı

Plazma ekran panelleri (PDP) ve likit kristal ekranlar (LCD) pratik hale gelene kadar 1990'lara dek tüm televizyon setlerinde CRT'ler kullanılmıştır. PDP'ler ve LCD'ler, CRT'lerden daha hafif ve daha incedir, bu da onları tüketiciler için daha uygun hale

getirmektedir. 2000'lerin başında ise, LCD'ler televizyon ve bilgisayar ekranı pazarlarına hakim olmaya başlamıştır (Whitaker, 2003).

LCD teknolojisi, PDP'lerin daha düşük maliyetli olması nedeniyle 40 inç veya daha büyük boyutlardaki PDP'lerle rekabet edememiştir. 2004 yılına gelindiğinde, 40 inç ve 45 inç LCD televizyonlar yaygın olarak bulunabilmekteydi. 2004'ten sonra, büyük üreticilerin 82 inç ve 102 inç gibi büyük ekran boyutlarını başarılı bir şekilde üretttiği duyurulmuştur. PDP'lere kıyasla daha yüksek çözünürlükleri ve daha düşük güç tüketimi ile LCD'ler ekran pazarında hızla büyümüştür. Büyük boyutlu LCD'ler tüketiciler için daha çekici olsa da, bir takım dezavantajları vardır. LCD'ler genellikle PDP'lere kıyasla daha düşük bir kontrast oranına sahiptir. LCD'ler, siyah ve beyaz pikseller arasındaki fark olarak tanımlanan kontrastı azaltan, çalışma doğası gereği siyah ışığın bir kısmını sızdırabilmektedir. Ek olarak NTSC (60 Hz), PAL (50 Hz) ve SECAM (50 Hz) formatlarındaki yenileme hızları, yenileme hızının tipik olarak 100 Hz'e yükseltilmesini gerektiren bir kırpışma sorununa neden olmaktadır (Whitaker, 2003).

Işık yayan diyot (LED TV) olarak da adlandırılan LCD TV'ler, 2000'li yılların başından beri piyasada yaygın olarak bulunmaktadır. En iyileri, canlı 4K HDR bir görüntü oluşturmak için kuantum noktaları veya yerel karartma gibi teknolojilere sahiptir. Çok uzun süredir piyasada olduklarından, LCD tabanlı televizyonlar genellikle QLED veya mini-LED gibi kulağa hoş gelen isimlerle pazarlanmaktadır, ancak çekirdek teknoloji LCD'dir (Morrison, 2021).

Diğer bir teknoloji, organik ışık yayan diyot (OLED), ana pazar için biraz daha yenidir. OLED ekranındaki her piksel, elektrikle dokunulduğunda parlayan bir malzemeden yapılmıştır. Organik kısım, OLED ekranlarda kullanılan özel organik bileşiklerdir, yani karbon ve diğer bazı bileşenleri içerirmektedir. Ekrandaki her küçük OLED pikseli, ne kadar elektrik akımı gönderdiğinize bağlı olarak ışık oluşturmaktadır. Bol akım, bol ışık demektir. Bu da, OLED'in mükemmel görüntü kalitesinin bir anahtarıdır. OLED'ler yaklaşık on yıldır piyasadadır ve hemen hemen hepsi OLED adıyla anılmaktadır. OLED ve LCD arasındaki en büyük fark nasıl çalıştıklarıdır. OLED ile her piksel kendi aydınlatmasını sağlar, böylece ayrı bir arka ışık olmaz. LCD'de tüm pikseller bir LED arka aydınlatma ile aydınlatılmaktadır (Morrison, 2021).

OLED, piksel bazında mutlak siyahlar ve son derece parlak beyazlar yapabilen tek teknolojidir. LCD kesinlikle bunu yapamamaktadır. Nedeni ise LCD'yi LCD yapan sıvı kristalin, yalnızca arka ışığının yarattığı ışığı engellemesidir. Bir mumun önüne güneş gözlüğü koymak gibi düşünülebilir. En iyi LCD'ler bile tüm ışığı tamamen engelleyemez,

bu nedenle sinema benzeri siyahları elde etmek için arka ışığı kapatmanız gerekmektedir (Morrison, 2019). OLED, yıldan yıla tutarlı bir şekilde görüntü kalitesinde ileridir, ancak LCD'ler genellikle daha ucuzdur ve yine de çok iyi görüntü kalitesi sağlayabilmektedir (Morrison, 2021).

En ilginç güncel LCD teknolojilerinden biri kuantum noktalarıdır. Bu mikroskobik parçacıklar, onlara enerji verdiğinizde belirli bir renk parlamaktadır. QLED'de hiç LED arka ışığı yoktur; sadece kuantum noktalarından oluşan pikseller bulunmaktadır. İlginç bir nokta, bunların hepsinin birbirini dışlayan teknolojiler olmamasıdır. Kuantum noktalarında onlara ne tür bir ışık verdiğinizin bir önemi yoktur. Böylece, kuantum noktalarının diğer renkleri (renk filtreleri yerine) oluşturduğu bir ışık rengi oluşturan bir OLED malzemeniz olabilmektedir (Morrison, 2019).

Yakın gelecekte, mini LED'in öne çıkabileceği değerlendirilmektedir. Bu teknoloji hala bir LCD katmanı kullanıyor olsa da, ışığı yaratan çok daha fazla LED vardır. Çoğu yerel karartma LCD'sinde (yani bugün piyasadaki hemen hemen tüm üst düzey LCD'lerde) birkaç yüz LED bulunmaktadır. TCL'nin 8 serisi olan ilk mini LED'i 25.000 LED'e sahiptir. Sonuç, bu teknolojinin fiyat primi olmadan OLED'e çok daha yakın bir görüntüdür. İleride daha fazla mini LED görmek seçenekler arasındadır (Morrison, 2019).

2.2. Görüntü ve Video Sıkıştırma Teknolojileri

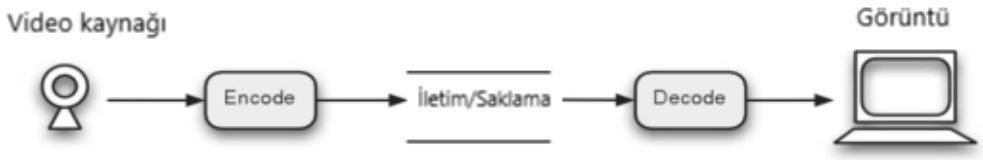
IT tabanlı sistemler, verileri dosya adı verilen kümeler halinde depo eder. Veriler arasında en fazla bilgiyi yapısı itibarıyla video dosyaları içerdiğinden dolayı en hacimli ve büyük boyutlu dosyalar bunlardır. Dosyaların az yer kaplaması, işlenmesi sırasında kolaylık sağlaması ve transferinin daha rahat gerçekleşmesi gibi nedenlerden dolayı dosya boyutlarının azaltılması için sıkıştırma (compression) adı verilen işlem yapılmaktadır. Sıkıştırma, verilerin çok sayıda bitten daha küçük bir sayıya sıkıştırıldığı işlemdir ve bu sıkıştırma, bit sayısını azaltmak için dijital videoda kullanılmaktadır. Dijital video, iletmek ve depolamak için uygun bir formata dönüştürülebilir, bu işleme video sıkıştırma veya video kodlama adı verilir (Shamaya, 2014, s. 23).

Sıkıştırmada ana hedef dosya boyutunun küçültülmesidir. Sıkıştırma yapılırken çeşitli matematiksel modeller ve yaklaşımlar kullanılarak donanım bileşenleri de olan yazılımlarla medyanın, sonrasında yeniden orjinaline yakın olarak tekrar elde edilebileceği

bir boyutta küçültme yapılmaktadır. İçeriğin dosya büyüklüğü olarak ne kadar küçültüleceğini belirlemek ve belirli ölçü dahilinde yapmak için sıkıştırma oranı (compression ratio) adı verilen değer kullanılmaktadır ve bu da orijinal medya boyutunun sıkıştırma sonrası oluşan boyuta oranını temsil etmektedir. Sıkıştırma oranı ne kadar büyük olursa, elde edilecek yeni dosya boyutunun hacmi o kadar azalır ve aynı zamanda orjinal medyadaki kayıp oranı da o kadar artar. Sıkıştırma oranının en uygun değerde tutulması bu nedenle önemlidir. Boyutun küçülmesinin sonucu olarak da içerikte kalite kaybı oluşabilmektedir. Sıkıştırma işini yapan sistemlere kodlayıcı (encoder) adı verilir, aynı zamanda sıkıştırıcı (compressor) da denilmektedir. Sıkıştırılmış bir medyadan yeniden orijinal veya orjinale yakın halinin elde edilmesine çözümleme (decoding), bu işi yapan sistemlere ise çözümleyici (decoder) adı verilir. Bazen de sıkıştırıcı (compressor), açıcı (decompressor) denildiği de olmaktadır. Kodek (CODEC - enCOder/DECoder), kodlayıcı/kod çözücü çifti için yaygın olarak kullanılan terimdir (Altın, 2021, s. 12).

Şekil 2.5

Encoder/Decoder. Investigation of Resource Usage and Video Quality with Different Formats in Video Broadcasting. Shamaya, 2014, s.23



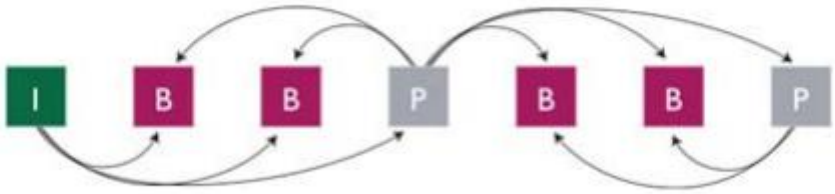
Sıkıştırma konusunda en yoğun çalışmalar video içerikler üzerine olmuştur. Bunun nedeni boyut olarak en fazla hacmi video bileşenin içermesidir. Sayısal video tekniğinde pikseller satırları, satırlar alan/çerçeve anlamına gelen resim çerçevelerini, çerçeveler de saniyede arka arkaya belirli bir hızda (24fps, 25fps, 30fps en çok kullanılanlardır) oynatılarak video sinyalini oluşturur. Bir çerçevede birbirine yakın olan pikseller benzer özellik gösterir. Bu durum uzaysal fazlalık olarak adlandırılır. Pixellerin birbirine benzemesi durumundan benzeyen pixellerin bir defa gönderilmesi düşüncesi ortaya çıkmıştır. Böylece bu yöntemle gönderilen/kaydedilen çerçeve bilgisinin boyutunun azaltılması mantığı ortaya çıkmış olup buna da çerçeve içi kodlama (Intraframe Coding) denmektedir. Bu şekilde

oluşturulan çerçeveye de anahtar çerçeve (key frame / I-frame) adı verilmektedir. Tek kare resimler bu tekniği kullanan kodeklerle sıkıştırılmaktadır. En bilinen kodek JPEG'dir (Joint Picture Expert Group) ve kayıplı sıkıştırma yapmaktadır. JPEG kodeği ile oluşturulan dosyalar *.jpg uzantılıdır. Bu kodeğin üzerine ise JPEG2000 kodeği geliştirilmiştir. İkisinin özellikleri birbirine yakındır ancak ayırt edici özelliği daha fazla sıkıştırma oranlarına imkan sağlayabilmesidir. Intra-frame sıkıştırma yapan ve kayıpsız olduğu ileri sürülen bir kodek de PNG'dir (Portable Networks Graphic). JPEG kadar yaygın olarak kullanılmasa da kayıpsız bir kodek olması dolayısıyla uygulama alanları artmıştır. Kayıpsız olması sebebiyle sıkıştırma oranları JPEG'ye göre daha azdır. Anahtar çerçevelerin arka arkaya gönderilmesi ile oluşan hareketli görüntü ise hareketli JPEG (Motion JPEG – MJPEG) olarak tanımlanır. MJPEG sıkıştırma formatı ile elde edilen video dosyaları *.mjpg uzantısı ile ifade edilir (Altın, 2021, s. 13).

Çerçevelerde olan benzerlikler sonucu farklılık göstermeyen piksellerin bir sonraki çerçevede tekrarlanabileceği ilkesi üzerine zamansal fazlalık (temporal redundancy) yöntemi kullanılır ve iki farklı tür yeni çerçeve elde edilir: P-frame ve B-frame. Tahmine dayalı çerçeve yani P-frame (Predictive Frame), kendisinden önce mekânsal fazlalık ilkesi ile elde edilen I-frame veya kendisi gibi ama daha önce üretilen başka bir P-frame kullanılarak elde edilmektedir. Bir resim çerçevesini oluşturan pixeller 8x8, 16x16, 64x64 gibi macro block olarak adlandırılan gruplara ayrılır. 8x8 bloklar ilk sıkıştırma algoritmalarında kullanılmıştır. Yani P-frame sıkıştırılmış diğer bir anlamıyla kodlanmış makrobloklardan ve onların referans çerçevedeki konumlarından sapmalarını gösteren kodlanmış hareket vektörlerinden oluşmaktadır (İnce, 2010, s.47). B-frame (Bilateral Frame) çift yönlü çerçevedir ve kendisinden önceki bir ve kendisinden sonraki bir referans -I veya P olabilen- çerçevenin sıkıştırılmasından oluşmaktadır (Altın, 2021, s. 14).

Şekil 2.6

Çerçevelerin Referans Durumları. Not All Packets Are Equal. Greengrass vd., 2009.

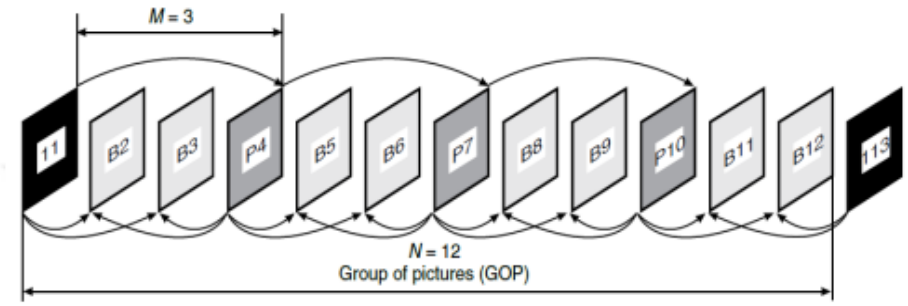


I-frame çerçeve en fazla veriyi bulundurması nedeniyle en büyük boyutlu çerçevedir. P-frame çerçevesi bir önceki referans çerçeveye atıfta bulunarak aradaki farkı belirlemeye yönelik hareket vektörü ve hareket tahmini sonucu elde edildiğinden aslına göre yaklaşık %50 büyüklükte bir veri içermektedir. Sıkıştırma işleminin en önemli noktasını hareket tahmini oluşturur. Bundan dolayı da kullanılan kodeğin performansı, onun hareket tahmini algoritmasının ne kadar başarılı olduğunu göstermektedir (Watkinson, 2004, s. 28).

Bir Resim Grubu (GOP), bir I çerçevesi ardından birkaç B ve P çerçevesinin bağımsız serisi olarak tanımlanmaktadır. Sıkıştırma oranı, çekimdeki gerçek harekete bağlı olduğundan, GOP'lerin farklı boyutları vardır. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi GOP için iki belirleyici parametre vardır. M, değeri iki referans çerçeve (I veya P) arasındaki çerçeve sayısı (örnekte:3), N değeri ise GOP'u oluşturan toplam çerçeve sayısını göstermektedir (örnekte:12)

Şekil 2.7

GOP yapısı M=3 N=12. Digital Television : Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV In The DVB Framework. Benoit, 2008



Bir videonun sürekli teslimi video akışı olarak adlandırılmaktadır. Video akışı, tam video dosyasını izlemeden önce indirmek yerine, medya içeriğinin veri alınırken izlenmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, canlı akışların yanı sıra anında video tüketmeye olanak sağlamaktadır. Genellikle video akışları GOP'den GOP'ye veya kareden kareye okunabilmektedir. Mevcut zorluk, video verilerini yüksek kalitede ve kesintisiz olarak sunmaktır (Lacaud, 2020, s. 11).

GOP yapısı farklı sayılarda çerçeve içerebilmektedir. Mesela MPEG–2'de PAL yayınlar için tanımlanan GOP en fazla 15 çerçeveden oluşabilirken, NTSC yayınlar için ise bu sayı 18 çerçeveye kadar çıkabilmektedir. GOP sayısı büyüdükçe sıkıştırma oranı da büyür ancak video boyutu küçülmüş yani görüntü kalitesi düşmüş olur. Bu durum iletim bant gereksiniminin de düşmesi demektir. Dolayısıyla GOP büyüklüğü artı ve eksileriyle birlikte değerlendirilmelidir (Alfonso, 2006).

2.2.1. Kayıpsız ve Kayıplı Video Sıkıştırma

Sıkıştırma yönteminin sınıflandırılması farklılık göstermekle birlikte genel olarak kayıplı ve kayıpsız sıkıştırma teknikleri olarak ikiye ayrılmaktadır (Aksan & Doğan, 2004). Kayıpsız sıkıştırmada sadece fazla veriden kurtulma ve hata oluşumunu engelleme amacı vardır. Kayıplı sıkıştırmada ise sıkıştırma oranını arttırma zorunluluğu olduğunda hatalar göz ardı edilebilmektedir (Engin, 2010, s.11). Kayıpları en aza indirmek için hareketli görüntülerin daha az sıkıştırılıp durağan görüntülerin daha çok sıkıştırılması video kalitesindeki oluşabilecek sıkıştırma kaynaklı kayıpları mümkün olduğunca azaltabilecek bir metottur.

2.2.1.1. Kayıpsız Sıkıştırma

Kayıpsız görüntü sıkıştırmada görüntünün sıkıştırılması sonrası oluşan veri ile öncesindekinin tamamen aynı olması amacı güdülmektedir. Yani bu uygulamada bir kalite düşüşüne tolerans gösterilmemektedir. Dolayısıyla veri boyutlarının çok yüksek olmasından dolayı kayıpsız sıkıştırma fazla tercih edilmemektedir.

2.2.1.2. Kayıplı Sıkıştırma

1980'li yıllarda geliştirilen ITU-T H.261 standardı bu konuda geliştirilmiş ilk standarttır. 1990'da ortaya çıkmış olup ikinci sürümü 1993'te geliştirilmiştir. 1995 yılında ilk olarak geliştirilen H.263, H.261'in yerini almıştır. 1997'de ikinci ve 2000'de üçüncü sürüm geliştirilmiştir (Engin, 2010, s. 9). 2001 yılında ITU-T'ye bağlı VCEG ve ISO/IEC'e bağlı MPEG grupları bir araya gelerek Joint Video Ekibi (JVT) grubunu kurmuştur. JVT grubu da, günümüzde hala yaygın olarak kullanılan 2003'te standart haline gelen H.264/AVC'yi ve 2013'te standart haline gelen H.265/HEVC teknolojilerini geliştirmiştir (Mitrovic, 2012, s.3).

2.2.1.2.1. MPEG (Moving Picture Experts Group)

Medya içeriklerinde video, audio, yardımcı veriler ve metadata gibi öğeler yer almaktadır. İçerikler işlenerek sonucunda bir bütün olarak medyayı oluşturur. Videolar ise işlenmesi en güç olan ve en fazla veri içeren bileşendir. ISO/IEC tarafından oluşturulmuş olup video için MPEG Grubu olarak anılan çalışma grubunun önerdiği kodekler endüstri standartları olarak en çok kullanılanlarıdır. MPEG video kodekleri MPEG-1 ile başlamış olup MPEG-2, MPEG-4 olarak devam etmektedir. MPEG-4 ise kendi içerisinde AVC/H.264 ve HEVC/H.265 olmak üzere iki ayrı nesil kodek tanımlaması yapmıştır (Altın, 2021, s. 15).

2.2.1.2.2. MPEG-1

H.261 standardını temel almakla birlikte 1993 yılında ilk sürümü yapılan kodek elemanı olup, ISO/IEC tarafından geliştirilmiştir (Engin, 2010, s. 22). Daha çok düşük çözünürlüklü video uygulamalarında kullanılmıştır. Artık günümüzde çok yüksek video çözünürlükleri tercih edildiğinden kullanımına gerek kalmamıştır. MPEG-1'de kalite olarak 352x288 25 fps veya 352x24030 fps çözünürlük kullanılmaktadır. Geçmişte çok amaçlı sayısal disk (DVD) döneminin öncesinde kullanılan disk tabanlı video kompakt disk (VCD) medyasında sıklıkla kullanılmıştır (Altın, 2021, s. 16; Yuste & Montagud, 2015, s. 8).

2.2.1.2.3. MPEG-2

MPEG-2, 1995 yılında televizyon sinyallerinin iletiminde kullanılmaya başlanmıştır. MPEG-2 Part 2/H.262 kodeği de güçlü bir araç takımı olmakla birlikte günümüze kadar halen kullanımına devam edilmektedir. Daha çok SD televizyon yayınlarının sıkıştırılması amacıyla geliştirilmiştir. MPEG-2, disk medyası olarak DVD ve Bluray sistemlerinde dosya tabanlı olarak; uydu haberleşme sistemlerinde aktarma akışı formatında sayısal seri iletim yöntemi olarak, yine bir noktadan başka bir noktaya iletimde kullanılan asenkron seri iletim sinyallerinin kodlanmasında geniş bir uygulama bulmuştur ve günümüze kadar önemini korumuştur. Dosya uzantısı olarak *.mpg uzantısını kullanmaktadır. Aktarım akışı formatında hazırlanan dosyalar ise *.ts uzantılıdır. Sinyal iletim ortamlarındaki bozucu etkilere karşı oldukça dayanıklı ve güvenilir bir format olarak endüstriyel kullanımlarda tercih edilmektedir (Altın, 2021, s. 16). MPEG-2 formatında sıkıştırılmış SD televizyon kanallarının iletimi için en az 4 Mbps bant genişliği gereklidir, HD televizyon kanallarının iletimi içinse 15 Mbps bant genişliğine ihtiyaç duyulmaktadır (İnce, 2010, s. 10).

2.2.1.2.4. MPEG-4

İlk olarak MPEG-3 projesi ile yüksek çözünürlüklü HD televizyon için geliştirilmeye başlanılmıştır ancak MPEG-2'nin bu ihtiyaçları karşılayabileceği farkedildiğinde proje iptal edilmiştir. Yine de MPEG-2'nin 25-30 Mbps'ye çıkan bant gereksinimleri nedeniyle daha verimli bir sıkıştırma yöntemi arayışına girilmiştir. ISO/IEC tarafından tamamlanan MPEG-4 standardı H.263'ü temel almaktadır. MPEG-4 grubu Part-1'den başlayıp en son Part-33'e kadar bir dizi sürümler kullanmıştır. Bu sürümler arasında video kodeği olarak en çok kullanılan sürüm, MPEG-4 Part 10 kodeği olarak bilinen AVC/H.264'tür. (Altın, 2021, s. 17).

MPEG-4 1920x1080 çözünürlüğe sahip HD yayınları 8-10 Mbps, 720x480 çözünürlüğe sahip SD yayınları ise 2 Mbps bant genişliklerinde iletebilmektedir (İnce, 2010, s. 44).

2.2.1.2.5. AVC / H.264

ITU-T ve ISO tarafından ortak bir standart olarak JVT tarafından geliştirilmiş olup ITU-T bu standardı H.264, ISO ise MPEG-4 Part 10 olarak tanımlamıştır. MPEG-4 tarafı daha sonra gelişmiş video kodlama (AVC) olarak kullanılmaya başlanmıştır (Engin, 2010, s. 10). H.264 video kodlama standardı, önceki standartlara göre çok daha yüksek kodlama verimliliğine sahiptir ve aynı video kalitesinde %50'ye varan bit hızı tasarrufu yapabilmektedir. Geliştirilmesinde amaçlanan nokta da zaten daha düşük bit oranları ile sıkıştırmayı gerçekleştirmektir. Yüksek kodlama verimliliği ve farklı iletişim ortamlarına karşı esnekliği ve sağlamlığı nedeniyle H.264'ün dijital televizyon, kablosuz ağlarda video iletimi ve internet üzerinden konferans gibi birçok uygulamada yaygın olarak kullanımı vardır (Parlak, 2009, s. 2).

AVC kodeğinin sıkıştırma oranlarını 100/1 oranına kadar düşürme özelliği bulunmaktadır ve bu da açık bir üstünlük sağlamaktadır. Örneğin sıkıştırılmamış bir 1920x1080 sinyalindeki veri oranı 1485 Gbit/sn iken AVC kodeği ile sıkıştırma sonrası bu oran 10-15 Mbit/sn gibi oldukça elverişli oranlara düşürülebilmektedir. SD uygulamalar günümüzde eskisi kadar kullanılmadığı için AVC kodeği çoğunlukla HD video uygulamalarında kullanılmaktadır (Altın, 2021, s. 17).

2010'lu yıllarda artık video standartlarında UHD kalitede 3940x2160 çözünürlüklü donanımların yer alması, hatta 4K, 8K gibi 8192x4320 yüksek çözünürlükteki video uygulamalarının konu edilmesi yeni nesil kodek ihtiyaçları doğurmuştur. AVC, HD çözünürlüklü videolar için yeterli bir kodektir (Altın, 2021, s. 17).

H.264/AVC'nin ölçeklenebilir uzantısı H.264/SVC, tek bir video akışının dahili olarak birkaç katmana bölünmesine izin vermektedir. Temel katman minimum video kalitesi sağlarken geliştirme katmanları kaliteyi arttırmaktadır. Katmanlar, daha yüksek katmanların kod çözme için daha düşük katmanlara bağımlı olduğu hiyerarşik bir yapıda düzenlenmektedir. H.264/SVC, istemci düğümlerinin kaynak kısıtlamalarını veya ağ yolu durumlarını karşılamak için video akışlarını kolayca uyarlama yeteneği bulundurmaktadır.

2.2.1.2.6. HEVC / H.265

Cisco Sanal Ağ İndeksine göre internet video trafiği tüm tüketici internet trafiğinin yaklaşık %82'sini oluşturacaktır (Cisco, 2019). Bu gelişmeler nedeniyle kodlama verimliliği yüksek video kodlama algoritmaları tasarlanmalıdır. Yakın tarihte, MPEG-2 sıkıştırmasının DVB-T/C/S iletimiyle birleştirilmesinin dijital televizyonu tanıtmayı nasıl mümkün kıldığı görülmüştür. Sonraki aşamada, HDTV'yi tanıtmak için kullanılan bir kombinasyon olan DVB-S2/T2 ile H.264/MPEG-4 AVC getirilmiştir. 2013 yılında ise Video Kodlamada Ortak İşbirliği Ekibi (JCT-VC), bir sonraki sıkıştırma standardı olan Yüksek Verimli Video Kodeği (HEVC) veya H.265 adlı yeni bir video sıkıştırma standardı geliştirmiştir. HEVC, H.264 video sıkıştırma standardından %50 daha iyi kodlama verimliliği sağlamaktadır. HEVC, daha iyi kodlama verimliliği elde etmek için H.264'ten daha büyük blok boyutları, daha fazla tahmin modu ve daha fazla dönüştürme türü kullanmaktadır. Bu nedenle HEVC, H.264'ten daha yüksek hesaplama karmaşıklığına sahiptir (Kalalı, 2018, s. 1).

HEVC kodlayıcının bir ileri yolu ve bir yeniden yapılandırma yolu vardır. İleri yol, bit akışını oluşturmaktadır. Bir çerçeve 8x8, 16x16, 32x32 veya 64x64 kodlama birimlerine (CU) bölünmüştür. Bir CU, tahmin birimlerine (PU) bölünebilmektedir. PU boyutları 4x4'ten 64x64'e kadardır. PU boyutu, mevcut CU boyutuyla aynı veya daha küçük olabilmektedir. Hareket tahmini, mevcut CU için en iyi iç tahmini belirlemekte olup intra tahmin[4], mevcut CU için en iyi dahili tahmini belirlemektedir. Mod kararı ise, video kalitesi ve bit hızı açısından aralarındaki en iyi tahmini ve PU boyutunu belirlemektedir. Mevcut CU ile en iyi tahmin arasındaki fark olan kalıntı, bit akışı oluşturmak için dönüşüm, nicemleme ve entropi kodlayıcı algoritmaları kullanılarak kodlanmaktadır. HEVC kod çözücünün orijinal çerçeveye erişimi olmadığından, kodlayıcı ve kod çözücü arasındaki uyumsuzluğu önlemek için kodlayıcıdaki yeniden yapılandırma yolu kullanılmaktadır. Yeniden yapılandırma yolu kullanılarak, hem kodlayıcıda hem de kod çözücüde aynı referans çerçeveleri kullanılmaktadır. Yeniden yapılandırma yolu, yeniden yapılandırılmış tortuyu oluşturmak için ters niceleme ve ters dönüşüm ile başlar. Kayıplı bir süreç olduğundan, ters nicelenmiş ve ters dönüştürülmüş katsayılar orijinal kalıntı ile aynı değildir. Yeniden oluşturulmuş çerçeve, yeniden oluşturulmuş kalıntının tahmin edilen piksellere eklenmesiyle oluşturulmaktadır (Azgın, 2019, s.3). AVC kodeğine kıyasla HD bir video için

[4] İntra tahmin, önceden kodlanmış referans çerçevelerden bir resmin tahmin edilmesini sağlayan yöntemdir.

gerekli veri oranını kullanan HEVC ile kodlanmış bir UHD video elde etmek olanaklıdır (Altın, 2021, s. 17).

MPEG kodekleri dışında da Google şirketinin geliştirdiği VP8 ve VP9 alternatif kodekleri bulunmaktadır. İşlevsel olarak VP8 kodeği AVC, VP9 kodeği ise HEVC kodeğine karşılık gelmektedir. MPEG serileri açık kodlu değildir ve bu nedenle telif sorunları oluşabilmektedir. VP8 ve VP9'da açık kod kullanıldığı için böyle bir sorun yoktur ve birçok farklı uygulamada da tercih edilebilmektedirler (Altın, 2021, s. 17).

2.2.1.2.7. AV1

AV1, telifsiz bir kodek olarak yakın zamanda adından sıklıkla söz ettirecek bir kodek olmaya adaydır (Altın, 2021, s. 18). AV1 kodek potansiyeli her zaman oldukça yüksek görülmüştür. AV1'in 4K, 8K, yüksek dinamik aralık ve geniş renk aralığına geçiş sırasında gelişmiş bant genişliği verimliliği sağlayacağı söylenmektedir (TVBEurope, 2022).

5. Yıllık Video Geliştirici Raporundan elde edilen sonuçlar, AV1'in kullanımında önemli bir artış yaşayacağını göstermektedir. Şu anda AVC/H.264 en çok kullanılan video kodek bileşenidir çünkü en geniş cihaz erişimine sahiptir. Şirketlerin, her cihazla birlikte çalışabilirliği sağlamak için H.264'ü desteklemeye devam etmesi gerekecektir. Ancak raporda, HEVC, VP9 ve AV1'in test ve üretim kullanımında önemli artışlar görülmüştür. YouTube gibi tüketici platformları tarafından AV1'in benimsenmesi ve cihaz desteğinin artırılması düşünüldüğünde sektörün AV1'e atlamaya hazır olabileceği öngörülmektedir. Qualcomm şirketi de kısa süre önce AV1'i desteklediğini duyurmuştur. Raporda ek olarak video geliştiricilerinin %22'sinin 2023 ortalarına kadar AV1'i kullanmayı planladığından ve bunun bu yılın kodekler bağlamında en önemli olayı olabileceğinden bahsedilmiştir (TVBEurope, 2022).

Apple ise akıllı telefonlarında, dizüstü bilgisayarlarında, tabletlerinde ve Apple TV 4K'da AV1 kodek bileşeni desteğini kullanıma sunacağını bildirmiştir. Youtube, 8K videolarını desteklemek için kod çözücüyü zaten kullanırken, Netflix de geçen yıl platformlarında izleyen izleyicilere AV1 akışı sunmaya başlamıştır. Bununla birlikte, Avrupa Birliği şu anda Apple'ın AV1'i lisanslaması konusunda Açık Medya İttifakı'nı araştırmaktadır ve bunun Apple'ın fikrini değiştirmesine neden olabileceği öngörülmektedir. TVBEurope'un önümüzdeki beş yıl içinde medya endüstrisinde hangi kodek bileşeninin

baskın hale geleceğini soran son anketinde ise AV1'in herhangi bir oy alamadığı görülmüştür. Sektördeki tüm bu değerlendirmeler ışığında AV1 kodeğinin geleceği hala soru işareti olarak görülmektedir (Priestley, 2022).

2.2.1.2.8. H.266/VVC (Versatile Video Codec)

Telifli bir kodek olan H.266 kodeği biraz geriden gelmekte olup daha çok telifli olan önceki HEVC gibi kodeklere alternatif olabileceği düşünülmektedir. Kasım 2020'de ITU-T tarafından H.266 olarak ve Şubat 2021'de ISO/IEC tarafından MPEG-I Part 3 olarak duyurulan çok yönlü video kodlama (VVC), ISO/IEC MPEG ve ITU-T VCEG tarafından ortaklaşa geliştirilen video kodlama standartları ailesinin en son üyesidir. MPEG'den elde edilen sonuçlara göre, aynı ailedeki selefi HEVC'ye kıyasla aynı kalite için ortalama %50 bit hızı tasarrufuyla videoyu kodlayabilmektedir. Bu, VVC'yi şu anda mevcut olan en verimli video kodlama teknolojilerinden biri yapmaktadır. Üstün kodlama verimliliği, çok yönlülüğü ve geniş endüstri desteği ile VVC, yeni nesil video kodek bileşenlerinin ticari gereksinimlerine yönelik teknik çözümlerden biri olarak seçim için bariz bir seçim olarak düşünülmektedir (DVB, 2022).

25 yıldan fazla bir süredir DVB, yayın ve geniş bant uygulamalarında video ve ses kodlamasının kullanımı için AVC spesifikasyonunu sürdürmüştür. Tüm DVB iletim yöntemleri (karasal, uydu, kablo, IPTV) için kullanılacak video kodlama standartları için DVB uygunluk noktalarını tanımlamaktadır. Spesifikasyon şu anda DVB Teknik Modülünün AVC çalışma grubu tarafından yeni nesil video kodeklerine destek eklemek için revize edilmektedir (DVB, 2022). Revize edilmiş DVB-AVC spesifikasyonu, VVC için dört uygunluk noktası içerir; ilk nokta minimum gereksinim, HDR ile 4K'ya (3840x2160) kadar çözünürlükleri destekleyebilen bir temel alıcıdır. Üç ek uygunluk noktası, HFR'ın ve 8K'ya (7680×4320) kadar çözünürlüklerin desteğini kapsamaktadır (DVB, 2022).

Minimum alıcı kapasitesi 3840x2160'a kadar çözünürlük desteği gerektirse de, içerik sağlayıcıların 1920x1080 veya daha düşük çözünürlükleri HDR aktarım özellikleriyle birlikte kullanabileceğini belirtilmiştir. Ayrıca tüm VVC özellikli alıcıların HDR özellikli olacağı varsayılmaktadır (Drugeon, 2022, s. 6).

VVC henüz kesinleşmemesine rağmen mevcut sürümünü uygulayan bir yazılım modeli sağlanmaktadır. VVC standardının mevcut versiyonu, çok daha yüksek hesaplama

karmaşıklığı pahasına HEVC'den çok daha iyi kodlama verimliliğine sahiptir. VVC iç tahmin algoritması, HEVC iç tahmin algoritmasına benzer. Ancak VVC'de açısal iç tahmin modlarının sayısı 65'e çıkarılmıştır. Ayrıca VVC, açısal iç tahmin modları için 4 kademeli kübik ve 4 kademeli gauss filtreleri kullanmakta olup bu da karmaşıklığı arttırmaktadır.

Panasonic dijital televizyon standardizasyonu kıdemli mühendisi Virginie Drugeon, yeni neslin bir video kodlama standardı olan VVC'nin, aynı zamanda onu özellikle çok yönlü ve farklı kullanım durumlarına ve içeriğe uyarlanabilir hale getiren yeni özellikleri olduğunu belirtmiştir. Bu tür iki özellik: referans resmi yeniden örnekleme (RPR) ve alt resimlerdir (Drugeon, 2022, s. 6).

RPR, önceden kodlanmış farklı çözünürlükteki referans resimlerden bir resmin tahmin edilmesini sağlayan bir inter-tahmin teknolojisidir. Daha verimli bir kodlama yapısı kullanarak segmentler arasında geçişi basitleştirmek veya bir taşıma akışı programı içinde uyarlamalı çözünürlük değişikliklerini sağlamak için kullanılabilmektedir. Bu tür uyarlamalı çözünürlük değişiklikleri, alıcıların işlem sonrası tasarımı üzerinde bir etkiye sahip olacağından, DVB, bu özelliğin kullanımını sağlamak için RPR'nin kullanımı ve genel olarak uyarlanabilir çözünürlük değişiklikleri üzerinde bazı kısıtlamalar belirlemiş ve aynı zamanda ek uygulama ve test yükünü kısıtlamıştır (Drugeon, 2022, s. 6).

Diğer özellik olan VVC alt resimleri ise kodlanmış bit akışının kendi içindeki görüntülerin dikdörtgen bölgelerinin kolayca işlenmesini sağlamak için tasarlanmıştır. Alt resimler kullanılarak kodlanmış bir VVC bit akışında, videonun dikdörtgen alanlarının çıkarılması veya birleştirilmesi, bit akışından veri çıkarılarak veya veri eklenerek gerçekleştirilebilir. Bu özellik, bir mozaik video veya resim içinde bir görünümün kullanıcı tarafından seçilmesi gibi tipik kişiselleştirme ve/veya erişilebilirlik kullanım durumlarının daha verimli uygulamalarını sağlamaktadır. Mozaik kullanım durumu, örneğin, kullanıcının bir futbol stadyumuna kurulmuş farklı kameraları özgürce seçmesine izin verebilir. Başka bir kullanım alanı olarak alt resimlerin kullanımı, kodlanmış bit akışında bir ana video içinde bir işaret dili videosunun oluşturulmasına izin verecek ve böylece erişilebilirlik hizmetleri sunulurken alıcıda iki kod çözücüye olan ihtiyacı ortadan kaldıracaktır. Resim içinde resim özelliğiyle ilgilenmeyen kullanıcılar, herhangi bir bit akışı manipülasyonu gerçekleştirmeyecek ve ana videoyu olduğu gibi tüketerek, hizmetin bir düzeyde kişiselleştirilmesini deneyimleyecektir (Drugeon, 2022, s. 6).

VVC'nin 360° videoda kullanımı da dikkat çekmektedir. 360° videoyu ultra yüksek uzamsal çözünürlükle kodlamak, video dağıtım hizmetlerinde kabul edilebilir QoE'yi garanti etmek yüksek bit hızları gerektirmektedir. Bununla birlikte, genel olarak, tam görüş alanı

(FoV), yani 360°, bir kerede gerekli olmadığından, içerik alaka düzeyine ve kullanıcı talebine göre yalnızca sınırlı bir FoV iletilirse büyük bir bant genişliği tasarrufu sağlanabilir. VVC standardında tanımlanan uyarlamalı çözünürlük değişimi (ARC) kavramını kullanılarak, tam FoV'yi farklı uzamsal çözünürlüklere sahip birden çok video karesine dinamik olarak eşleyerek bant genişliği sorunlarına çözüm aranmaktadır. Görsel olarak daha fazla dikkat çeken FoV'ler daha yüksek çözünürlükle kodlanırken, diğerleri daha düşük çözünürlükle kodlanır, böylece en ilgili bölgelerin görsel kalitesinden ve çözünürlüğünden ödün verilmez. Simülasyon sonuçları, önerilen uyarlamalı kodlama şemasının, herhangi bir zamanda en alakalı FoV için yüksek kaliteli video sunabildiğini ve maksimum %37.2'lik bir bit hızı düşüşü elde edebildiğini göstermektedir (Carreira vd., 2020, s. 1).

DVB Projesi, yayın ve geniş bant uygulamalarında video kodlamasının kullanımı için temel özelliklerine VVC'yi de eklemiştir. Yeni video kodek bileşenleri, 8K gibi yayın ve geniş bant için gelişmiş video deneyimlerinin yanı sıra 4K UHD'nin benimsenmesini hızlandırmanın önemli sağlayıcılarıdır. VVC'nin eklenmesi ve ardından ek kodekler, DVB'nin yayın ve geniş bant yoluyla yeni nesil televizyon hizmetlerinin sunumu için dünyanın en kapsamlı ve esnek araç kutusunu sağlamaya devam etmesini sağlamaktadır (DVB, 2022).

2.2.1.2.9. AVS3

DVB, video kodlama spesifikasyonunu AVS3 kodek bileşenini içerecek şekilde güncellemiştir. Ekim 2021'de yayınlanan AVS3, Çin'de AVS Workgroup tarafından geliştirilmiştir. DVB Projesine göre, HEVC'ye kıyasla aynı kalite için yaklaşık %40 bit hızı tasarrufuyla videoyu kodlayabilmektedir. DVB, bunun AVS3'ü dünyanın en verimli video kodlama teknolojileri arasına yerleştirdiğini söylemiştir (Priestley, 2022).

Revize edilmiş DVB-AVC spesifikasyonu, AVS3 için dört uygunluk noktası içermektedir: Bunların ilki minimum gereksinim, HDR ile 4K'ya (3840×2160) kadar çözünürlükleri destekleyebilen bir temel alıcıdır (Priestley, 2022). DVB, üç ek uygunluk noktasının HFR'nin ve 8K'ya (7680×4320) kadar çözünürlüklerin desteğini kapsadığını söylemiştir. Dört AVS3 uygunluk noktasının video kodlama parametreleri, önceki sürümde VVC için tanımlanan dört uygunluk noktasıyla eşleşir ve kodekler arasında hizmet seviyelerinde tutarlılık sağlanmaktadır (Priestley, 2022).

BÖLÜM 3

MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Kablosuz sistemlerin evrimi, insanların iletişim ve birbirleriyle etkileşim şeklini değiştiren inanılmaz teknolojik ilerlemeler sağlayarak, oldukça kısa bir sürede gerçekleşmiştir. Mobil üretim (G) terimi genellikle sistemin doğasında, hız, teknoloji, frekans, veri kapasitesi, gecikme gibi anlamlara gelmektedir. Her neslin, kendisini bir öncekinden farklı kılan standartları, kapasiteleri ve yeni özellikleri vardır. Bu ilerlemeler birkaç nesilde gelmiştir; mobil kablosuz iletişim yolculuğu 1G ile başlamış olup, ardından 2G, 3G, 4G ve şu anda popüler standart olan 5G gelmiştir. Yeni çıkan her nesil kablosuz sistem, iki hedefe doğru farklı yollar izlemiştir: daha yüksek performans ile verimlilik sağlamak ve bunu son derece karmaşık ağ dağıtımlarında yapmak. Daha gelişmiş bir teknolojinin artan talebe cevap vermesi, daha yüksek performans sağlaması aynı zamanda yeni kullanım modelleri yaratması ve talebi daha da artırması öngörülmüştür. Çoğu zaman, yeni bir teknoloji tanıtıldığında kullanıcılar tarafından ne tür uygulamalar isteneceği bile net olmamaktadır. Benzer şekilde, kullanıcılar başlangıçta yeni bir teknolojinin hangi temel yetenekleri mümkün kıldığını bilemeyebilirler. Son kullanıcılar, uygulamalar, cihazlar ve teknoloji arasındaki bu kapalı döngü geri bildirim döngüsü, kendi kendine enerji veren bir inovasyon döngüsüne yol açabilmektedir. Bu döngünün bir sonucu olarak, hücresel sistemlerin en yüksek veri hızları, ilk dijital 2G telefonların piyasaya sürülmesinden bu yana son on yılda her 18 ayda bir ikiye katlanmıştır ve görünürde bir sonu yoktur (Badic vd., 2016, s. 1).

İlk cep telefonu Motorola tarafından 1973 yılında üretilmiştir. Bundan önce cep telefonu sadece araçlarda kullanılmıştır. Prototip el telefonları 1,1 kg ağırlığında ve 23 cm uzunluğunda ölçülmüştür. Sadece 30 dakika konuşulabilmektedir ve pili şarj etme süresi 10 saattir. İlk ticari hücresel ağ ise 1979'da Japonya'da Nippon Telegraf ve Telefon (NTT) tarafından başlatılmıştır, bunu 1981'de Danimarka, Finlandiya, Norveç ve İsveç'te Nordik Mobil Telefon (NMT) sistemi izlemiştir. Bu gelişmelerle mobil kablosuz iletişimin gelişimi başlamıştır (Badic vd., 2016, s. 2).

80'lerde piyasaya sürülen ilk nesil (1G) mobil kablosuz iletişim ağı, analog hücresel teknolojidir ve yalnızca sesli aramaları desteklemiştir. 90'lı yıllarda mevcut olan ikinci nesil (2G), dijital bir teknoloji kullanmıştır ve metin mesajlaşmasını ve daha düşük hızlı verileri desteklemiştir. 1G'den üçüncü nesil 3G'ye kadar mobil sesli telefon, mobil iletişim

sistemlerinin büyümesini sağlayan ana uygulamadır. 3G'den bu yana, mobil geniş bant veri uygulamaları, mobil iletişim sistemlerinin daha da gelişmesi için temel güç haline gelmiştir. Son on yılda kullanıma sunulan 3G, daha yüksek veri aktarım hızları ve artan kapasite ile birlikte multimedya desteği sağlamıştır. Yaklaşık 10 yıllık 3G geliştirmesinden sonra, 3G ağlarının yüksek bant genişliği ve veri hızları gerektiren uygulamaların muazzam büyümesine ayak uyduramayacağı anlaşılmış olup dördüncü neslin (4G) gelişimi başlamıştır. 4G ile öncülleri arasındaki temel fark, devre anahtarlamanın ortadan kaldırılması ve bunun yerine tamamen IP ağının kullanılmasıdır; yani, sesli aramalar, tıpkı diğer herhangi bir akışlı sesli ortam türü gibi, VoIP aracılığıyla İnternet, yerel alan ağı (LAN) veya geniş alan ağı (WAN) üzerinden paket anahtarlama kullanılarak yapılır. Standardizasyon kuruluşları tarafından yeni tanımlanan beşinci nesil 5G'nin muazzam veri hızlarını, çok sayıda kullanıcı uygulamasını ve hizmetini destekleyen gerçek bir kablosuz dünya, yani Kablosuz Dünya Çapında Ağ (WWWW) getirmesi beklenmektedir (Badic vd., 2016, s. 3).

Tablo 3

Mobil Ağ Teknolojilerinin Evrimi

Nesil	Hız	Teknoloji	Zaman Periyodu
1G	2.4 Kbps	AMPS, NMT, TACS	1970-1990
2G	9.6/ 14.4 Kbps	TDMA,CDMA	1990-2000
2.5G	64-384 Kbps	GPRS, EDGE	2001-2004
3G	2-3 Mbps	CDMA 2000, UMTS	2004-2005
3.5G	3.5- 56 Mbps	HSPA	2006-2010
4G	100-300 Mbps	WiMax, LTE, WiFi	2009-...
5G	1Gbps	GPRS/EDGE, LTE, 3G, WLAN, NR	2020

3.1. 1G

1G, 1980'lerde ortaya çıkarak yeni bir mobil iletişim çağı açmıştır. Tarihsel olarak, hücresel sistemin ilk fikri 1947'de Bell Labs tarafından önerilmiştir. Bu fikir 1979'da NTT tarafından ticarileştirilmiştir. Farklı ülkeler, Doğu Avrupa ve Rusya'da kullanılan NMT, Kuzey Amerika'da kullanılan AMPS, Birleşik Krallık'ta TACS ve Japonyada kullanılan TZ-801/2/3 ile kendi 1G standartlarını geliştirmiştir (Xingqin & Namyoon, 2021, s. 3).

Birinci nesil hücresel sistemler, yaklaşık 150 MHz taşıyıcı frekansları kullanan analog iletişim teknolojilerini benimsemiş ve yalnızca sesli arama hizmetleri sunmuştur. Temelde telefon görüşmeleri için kullanılmıştır. Metin gönderme veya veri aktarımı yapma imkanı yoktur. Sinyalin zayıf ve gürültülü olmasına neden olan küçük bant genişliği kullandığından daha uzun mesafeli iletişim için uygun değildir. Cep telefonu sistemi (MTS), Gelişmiş cep telefonu sistemi (AMTS), iyileştirilmiş cep telefonu sistemi (IMTS) ve bas konuş (PTT) gibi mobil teknolojileri tanıtmıştır. Ses iletimi dar bant FM iletimi ile yapılmıştır. Sinyalleme, düşük oranlı ikili Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK) sinyallemesine dayanır, kontrol mekanizmaları esas olarak ağ merkezlidir ve sinyalizasyon çoğunlukla aşağı bağlantılardan oluşmuştur (Xingqin & Namyoon, 2021, s.3).

1G sistemlerinin en önemli eksikliği güvenlik eksikliğidir. FM iletimi kolayca dinlenebilir ve konuşmayı dinlemenin yanı sıra sinyal mesajları da dinlenebilir. Bu, davetsiz misafirlerin bir kullanıcının kimliğini okuması gibi durumlara izin vermiştir. 1G mobil sistemlerinin bir diğer eksikliği de devir teslim prosedürlerinin baz istasyonlarının alan gücü ölçümlerine dayanmasıdır. 1G sistemlerinin diğer açık kusuru, dolaşımın mümkün olmamasıdır; her ülke kendi sistemini geliştirdiği için farklı mobil iletişim sistemleri arasında uyumluluk yoktur. Örneğin Avusturya'da NMT gibi bir sistem kullanıldığında bile İsveçli bir kullanıcı telefonunu yurt dışında kullanamamaktadır (Badic vd., 2016, s. 4).

3.2. 2G

2G, hücresel kablosuz ağ ve telekomünikasyon kronolojisinde tartışmasız bir dönüm noktası olmuştur. 1980'lerin sonlarında ortaya çıkarak kısa mesaj servisi (SMS) kolaylığı sağlamış ve 30 ila 200 KHz bant genişliğini 64 kbps hızında kullanmıştır (Chitti vd., 2019, s.2).

1G'den sonra birincil değişiklik, analog olanlar yerine dijital iletişim teknolojilerini kullanmaktır. Dijital iletişim teknolojileri, dijital sistemlerin gücü sayesinde iletişimin kalitesini ve güvenlik düzeyini önemli ölçüde iyileştirmiştir. 2G, kişiden kişiye sesli iletişim hizmetlerinden daha fazlasıdır. Yalnızca SMS değil, resimli mesajlar ve multimedya mesajları (MMS) da dahil olmak üzere dijital olarak şifrelenmiş mesajların transferini desteklemiştir. Çok sayıda mesaj türü, iş fırsatlarını zenginleştirmiştir; bu nedenle, mobil iletişim sistemlerinin popülaritesi bu çağda yükselmiştir (Xingqin & Namyoon, 2021, s. 4).

2G, dijital bir mobil iletişim çağını başlatmıştır. İlk 2G standardı, 1991 yılında piyasaya sürülen Mobil İletişim için Küresel Sistem (GSM) idir. GSM, 9.6 kbit/s veri hızını destekleyerek ve Genel Paket Radyo Hizmeti'ne (GPRS) ve gelişmiş veri hızlarına dönüşüm başlatmıştır (Xingqin & Namyoon, 2021, s. 4).

2G, dijital işleme ve Zaman Bölmeli Çoğullama Erişimini (TDMA) tanıtmıştır. Bu sistemde modülasyon dijitaldir; ses sinyalleri, iletimden önce dijital algoritmalar tarafından sıkıştırılır, tipik olarak konuşma sinyali bloklar halinde işlenir. Ayrıca, şifreleme getirilmiştir ve dolaşım bir zorunluluk haline gelmiştir (Badic vd., 2016, s. 5).

3.2.1. 2.5G

2.5G, ABD'deki mobil hücresel ağlara kod bölmeli çoklu erişim (CDMA) iletim teknolojisini tanıtmıştır. Başlangıçta bazı operatörler tarafından desteklenen ve daha sonra ABD standardı haline gelen tescilli bir kavramdır (Badic vd., 2016, s. 5).

Tüm 2G sistemlerinde ortak olan tek hizmet ses ve SMS hizmetidir. Sonrasında, GPRS, paket anahtarlamalı (PS) etki alanını mobil ağ mimarilerine tanıtmıştır. GPRS, farklı modülasyon ve kodlama şemalarına sahiptir, ancak pratik bir otomatik bağlantı uyarlamasından yoksundur. Aynı radyo kaynağının çok sayıda kullanıcı için paylaşılmasının yanı sıra paket zamanlama uygulamaya konmuştur, ancak mevcut veri hızları hala oldukça düşüktür. Böylece 90'lı yılların ikinci yarısında GSM gelişimi için arttırılmış veri hızları (EDGE) üzerinde çalışmalara başlamıştır. EDGE, iyi radyo koşullarında daha yüksek veri hızları sağlamak için GSM konseptine yeni bir modülasyon formatı getirmiştir ve hızı da 384 Kbps'e çıkarabilmiştir. Hibrit Otomatik Tekrar Talebi (HARQ) şemaları da tanıtılmıştır. Yeni modülasyon şemasını ve zaman dilimi birleştirmeyi kullanan 2G sistemi, ilk kez ciddi veri hızları sağlamayı başarmıştır (Badic vd., 2016, s. 5).

3.3. 3G

3G, mobil internet çağını açmıştır. 3G'deki büyük yenilik, veri paketi tabanlı iletişim teknolojilerinin kullanılmasıdır. Paket anahtarlamalı iletişim teknolojileri, mobil iletişim sistemlerini kullanarak dünyanın herhangi bir yerinden dünya çapında ağa, yani mobil internete bağlantı sağlamıştır. 3G'nin maksimum veri hızı, 2G'den yaklaşık dört kat daha hızlı olan yaklaşık 2 Mbps'dir. Bu veri hızı geliştirmesi, IP üzerinden ses (örn. Skype), hızlı web tarama ve video akışı/konferans dahil olmak üzere yeni hizmetleri mümkün kılmıştır. Bu çağda, 2002'de Blackberry ve 2007'de iPhone gibi akıllı telefon adı verilen yenilikçi mobil cihazlar piyasaya sürülmüştür. Bu cihazlar, mobil iletişim sistemlerinin servis yeteneklerini genişletmiştir.

3G, Uluslararası Mobil Telekomünikasyon 2000 (IMT-2000) standartlarının gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. İlk 3G hizmeti, 2001 yılında NTT DoCoMo tarafından 3. Nesil Ortaklık Projesi (3GPP) tarafından standartlaştırılmış Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS) sistemi kullanılarak başlatılmıştır. Bu sistem, sırasıyla 28 ve 56 Mbit/s'ye kadar yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı tepe veri hızları verebilen HSPA+'ya evrimleşmiştir. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) 2000 sistemi, Kuzey Amerika ve Güney Kore'de ticari olarak başarılı 3G standardıdır ve 3GPP2 tarafından standartlaştırılmıştır (Xingqin & Namyoon, 2021, s. 4).

3G sistemlerinde veriler, paket anahtarlama adı verilen teknoloji aracılığıyla gönderilir. Sesli aramalar ise devre anahtarlama ile yorumlanır. Sözlü iletişimin yanı sıra veri hizmetleri, televizyon/video erişimi, küresel dolaşım gibi yeni hizmetleri içermektedir. 2100 MHz aralığında çalışır ve yüksek hızlı internet hizmeti, görüntülü sohbet için kullanılan 15-20 MHz bant genişliğine sahiptir (Kachhavay & Thakare, 2014, s. 1082).

3G dijital kalmıştır, ancak 2G'ye kıyasla en yüksek veri hızlarını önemli ölçüde artırmayı amaçlamıştır. Bu, ancak daha fazla frekans bant genişliği ve daha yüksek sembol oranları kullanılarak mümkün olmuştur. Bu nedenle CDMA basit işlemlerle (sadece toplama ve çıkarma) uygulanması kolay yeni bir tür tanıtılmıştır. Sürüm 5 ile birlikte, HSDPA (Yüksek Hızlı Downlink Paket Erişimi) konsepti, aşağı bağlantıda veri hizmeti desteği için önemli teknik geliştirmeler getiren standardın bir parçası haline gelmiştir. Sürüm 6'da, WCDMA'yı yüksek hızlı paket erişimine (HSPA) dönüştüren iyileştirmeler tanıtılmıştır ve bu çerçevede verimli paket veri sağlanması mümkün kılınmıştır (Badic vd., 2016, s. 5).

3.4. 4G

4G, gerçek zamanlı akış çağını başlatan teknoloji olmuştur. 3G'den 4G'ye yapılan birincil değişiklik, saniyede yüzlerce megabite kadar son derece gelişmiş veri hızları sağlamaktır. Bu veri hızı geliştirmesi, gerçek zamanlı mobil oyun ve yüksek çözünürlüklü mobil televizyon dahil olmak üzere yeni mobil hizmetleri teşvik etmiştir. Veri hızlarını iyileştirmedeki temel teknoloji, ortogonal frekans bölmeli çoklu erişim (OFDMA) olarak adlandırılan yeni bir çoklu erişim tekniğidir. Ek olarak, çok girişli çok çıkışlı (MIMO) iletişim teknolojileri, veri hızlarını daha da geliştirmiştir. Bu iki temel teknoloji, kablosuz ortamlarda kanal zayıflaması ve parazit engellerinin üstesinden gelmek için hücresel sistemlerin tasarım ilkelerini temelden değiştirmiştir (Xingqin & Namyoon, 2021, s. 5).

4G, 100 Mbps indirme hızı sunar. Ayrıca televizyon programlarını daha net bir şekilde izlemek ve önceki nesillere göre çok daha hızlı veri göndermek için 3G ile aynı özelliği ve multimedya gazeteleri gibi ek hizmetleri sağlamaktadır (Kachhavay & Thakare, 2014, s. 1082).

3.4.1. LTE

2004'te test edilip 2009'da kullanılmaya başlanan Uzun Vadeli Evrim (LTE), 4G teknolojisi olarak kabul edilir ancak 3G standartlarına yükseltme olarak oluşturulmuştur. LTE artık tüm hücresel operatörler tarafından uygulanmaktadır. 3GPP tarafından tanımlandığı gibi, LTE, 3.9G teknolojisi olarak bilinir, ancak 4G olarak pazarlanır. Orijinal 4G, LTE-A olarak belirlenmiştir (Chitti vd., 2019, s.2).

4G, kablosuz geniş bant erişimi, MMS, görüntülü sohbet, mobil televizyon, HDTV içeriği, dijital video yayını, ses ve veri gibi minimal hizmetler gibi gelecek uygulamalar tarafından belirlenen servis kalitesi ve hız gereksinimlerini karşılamak için geliştirilmektedir (Kachhavay & Thakare, 2014, s. 1082).

Ticari 4G LTE hizmeti ilk olarak İsveç'te 2009'da sunulmuştur ve daha sonra dünyanın çoğu ülkesinde yayılmıştır. Örneğin, Güney Kore ve Birleşik Krallık, 2011 ve 2012'de LTE hizmetini başlatmıştır. LTE sistemlerinin maksimum aşağı bağlantı ve yukarı bağlantı veri hızları, 20 MHz kanal kullanıldığında sırasıyla 100 ve 50 Mbps'dir. 2011 yılında, takip standardı LTE Advanced (LTE-A) kullanılmaya başlanmıştır. LTE-A, 2010

yılında 3GPP spesifikasyonunun Sürüm 10'un bir parçası olarak standardize edilmiştir. Veri hızlarını daha da artırmak için daha fazla spektrum ve anten kullanılmıştır. LTE-A, sırasıyla aşağı bağlantı ve yukarı bağlantıda 1000 ve 500 Mbps'ye kadar veri hızları sunmuştur. Koordineli çok noktalı iletim ve taşıyıcı toplama teknolojileri, sistem kapasitesini artırmanın temel bileşenleri olmuştur (Xingqin & Namyoon, 2021, s. 5).

3.4.2. WiMAX

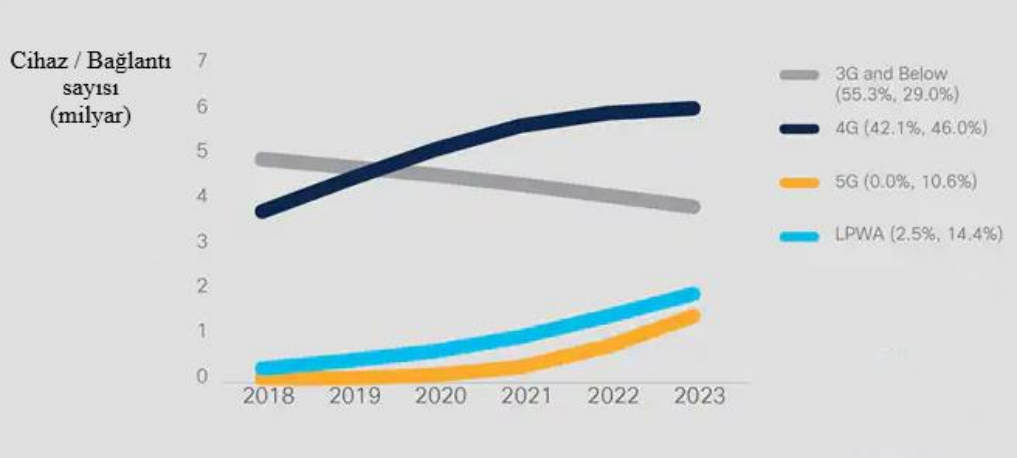
2002 yılında çalışmalarına başlanan ve güçlendirilmiş Kablosuz Bağlantı Alanı (Wi-Fi) olarak tanımlanan WiMAX, geliştirilen en son sürümünde 360 Mbps hızlarına ulaşmıştır. Kullanıcı sayısına göre azalabilen hızı, kurulumundaki yüksek maliyetler ve çoğu ülkenin LTE teknolojisini kullanmaya başlaması ile birlikte ciddi dezavantajlara sahip olduğundan 2012 yılında kullanımına son verilmiştir (Ağırbaşlı, 2017, s. 75).

3.5. 5G

Mobil ağ teknolojilerinde bir dönüm noktası olan 5G, yalnızca mobil geniş bant ağlarının bir evrimi değildir. Ayrıca yeni benzersiz ağ ve hizmet yeteneklerine sahiptir. 5G, kullanıcıya yüksek hareketlilik, çok yoğun veya dağınık alanlar, heterojen teknolojilerin kapsadığı yolculuklar gibi zorlu koşullarda süreklilik yaşatacaktır. Ayrıca, yüksek güvenilirlik, düşük gecikmeli küresel kapsama gerektiren kritik hizmetler 5G altyapısı tarafından desteklenecektir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi 2023'e kadar 5G bağlantılı kullanıcıların yaklaşık 1,4 milyara ulaşması, 5G özellikli cihaz ve bağlantıların da %11'i bulması beklenmektedir (Cisco, 2020). Şekil 3.2'de ise 2025 yılına kadar, dünyanın %45'inin 1,7 milyardan fazla cihazı birbirine bağlayan 5G kapsamına gireceği gösterilmektedir (Ballhaus & Chow, 2020, s. 14).

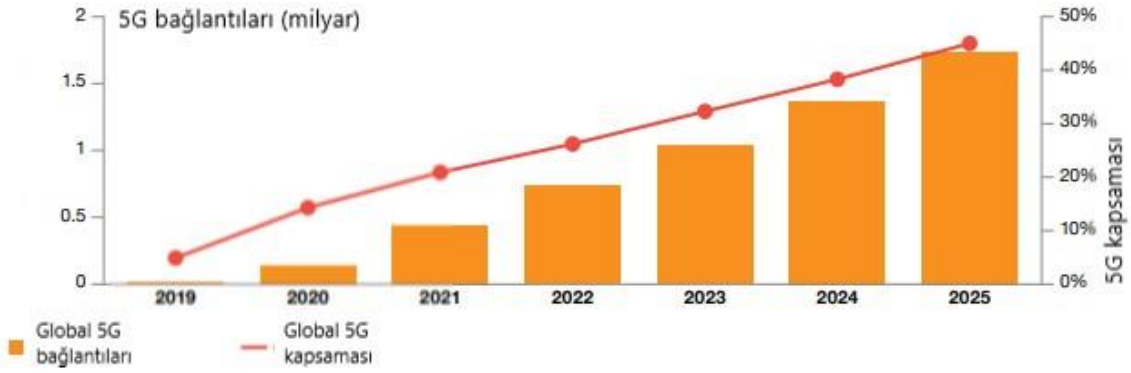
Şekil 3.1

Küresel Mobil Cihaz ve Bağlantı Büyümesi[5].Cisco Annual Internet Report, 2018–2023



Şekil 3.2

2025 Yılına Kadar, Dünyanın Tahmini 5G Kapsamı. Pulling the future forward: The entertainment and media industry reconfigures amid recovery. Ballhaus & Chow, 2020



Birçok ülkede, 5G altyapısına yapılan yatırımlar Covid-19'un etkileri ile birlikte iki yönlü olmuştur. Bir yandan pandemi, hem mevcut sınırlamaları hem de gelecekteki bağlantı potansiyelini vurgulamış ve 5G için olası talebi hızlandırmıştır. Öte yandan, operatörlerin

[5]LPWA, Düşük Güçlü Geniş Alan bağlantıları anlamına gelir. Bu tür ultra dar bant kablosuz ağ bağlantısı, özellikle düşük bant genişliği ve geniş coğrafi kapsama alanı gerektiren M2M modülleri içindir.

dikkatini ve yatırımını, hayati hizmetlerin sürekliliğini sağlamak için mevcut ağların esnekliğini korumak gibi daha acil önceliklere yönlendirmiştir (Ballhaus & Chow, 2020, s. 14).

Dünyanın bazı bölgelerindeki zorluk, daha fazla 5G yatırımı yapılmasını haklı çıkaracak kullanım durumlarını belirleme sorunudur. 5G'nin şimdiye kadar çok az ilerleme kaydettiği Endonezya ele alınırsa; sadece bir avuç deneme yapılmıştır ve operatörler veya tüketiciler arasında 5G için fazla bir istek belirtisi yoktur. Mevcut odak, uzak bölgelerdeki mevcut geniş bant hizmetlerinin kalitesini iyileştirmeye daha fazla odaklanmaktadır. Diğer pazarlarda 5G'nin arkasındaki ivme daha hızlı artmaktadır ve Covid-19, 5G çözümlerine yatırım için bir teşvik görevi görmektedir. Çin'de, pandemi, sağlık sektörü, telekomünikasyon şirketleri ve teknoloji şirketleri arasında 5G'ye dayalı dijital sağlık çözümleri geliştirmek ve kullanıma sunmak için işbirliklerini hızlandırılmıştır. China Mobile, Huawei, Hubei ve ZTE gibi şirketlerin tümü, Covid-19 hastalarının uzaktan teşhisi ve tedavisi için arttırılmış gerçeklik robotları, sensörler, biyometri ve genetik tarama gibi 5G özellikli araçların kullanılmasına dahil olmuştur. 5G, Jio Platforms'un önümüzdeki yıllarda Hindistan yapımı bir 5G ağı başlatmayı taahhüt ettiği Hindistan'da da ilerlemektedir (Ballhaus & Chow, 2020, s.14).

Ağ oluşturma, bilgi işlem ve depolama kaynakları, 5G ile programlanabilir ve birleşik tek bir altyapıya entegre edilecektir. Tüm dağıtılmış kaynakların optimize edilmiş ve daha dinamik bir şekilde kullanılmasına ve sabit, mobil ve yayın hizmetlerinin yakınsamasına olanak tanıyacaktır. 5G, daha fazla kapasite, daha düşük gecikme süresi, daha fazla mobilite ve daha fazla terminal konumu doğruluğu, artan güvenilirlik ve kullanılabilirlik açısından gelişmiş performans sağlayacaktır. Aynı anda daha fazla cihazı bağlamak ve terminal pil kapasitesinin ömrünü artırmak kritik bir nokta olacaktır (Sharad & Chavda, 2016, s. 80).

5G altyapıları da çok daha spektral verimli olacaktır. Artan spektral verimlilik, aynı miktarda iletilen veri sağlamak için 4G mobil ağların tükettiği günümüzde 5G sistemlerinin çok daha az enerji tüketmesini sağlayacaktır. 5G, hizmet oluşturma süresini de kısaltacaktır. Son olarak, 5G sistemleri donanım açısından verimli olacaktır. Ultra verimli 5G donanımı çok esnek olacak, enerji farkındalığı olacak ve çok heterojen ortamlarda birlikte çalışacaktır. Artan verimlilik nedeniyle 5G altyapısının maliyeti önemli ölçüde azalacaktır (Sharad & Chavda, 2016, s. 80).

5G kablosuz, yazılım tarafından yönlendirilecektir. Performans hedeflerini karşılamak için özellikle ağ işlevleri sanallaştırması (NFV), yazılım tanımlı ağlar (SDN), sis

bilişim (FC) ve çok erişimli uç bilgi işlem (MEC) gibi bir dizi sistemde birleşik işletim sistemi üzerinde çalışması beklenmektedir (Sharad & Chavda, 2016, s. 80).

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Radyokomünikasyon Sektörü (ITU-R), 5G çağında üç kullanım ve uygulama alanı tanımlamıştır: gelişmiş mobil geniş bant (eMBB), ultra güvenilir düşük gecikmeli iletişim (URLLC) ve büyük makine tipi iletişim (mMTC).

eMBB, mobil iletişim sistemlerinin birincil uygulamaları olmaya devam eden mobil geniş bant veri hizmetlerinin doğal bir evrimidir. Yüksek veri hızları ve büyük trafik hacimleri ile karakterizedir. Örnek eMBB hizmetleri, artırılmış ve sanal gerçeklik, yüksek çözünürlüklü üç boyutlu 3D videolar ve 4K akış içermektedir. 5G, eMBB uygulamaları için yüksek hızlı mobil bağlantıyı destekleyerek gelişmiş tüketici deneyimi sunacaktır. eMBB, kurumsal işbirliği hizmetlerindeki uygulamaları da içerebilmektedir (Xingqin & Namyoon, 2021, s. 6).

URLLC, ultra yüksek güvenilirlik ve düşük gecikme süresi gerektiren hizmetlere karşılık gelir. Örnek bir uygulama, endüstriyel üretim ve üretim süreçlerinin kablosuz kontrolüdür. Akıllı ulaşım sistemlerinde trafik güvenliği ve kontrolü için yüksek güvenilirlik ve düşük gecikme özellikleri de kilit rol oynayacaktır (Xingqin& Namyoon, 2021, s. 6).

mMTC, temel olarak çok sayıda cihazla karakterize edilen nesnelerin interneti (IoT) hizmetlerini ifade etmektedir. Örnek IoT uygulamaları arasında akıllı şehirler, akıllı ev, kamu hizmetleri ve uzaktan izleme yer almaktadır. Bu tür hizmetlerin temel gereksinimleri, çok sayıda aygıtın desteklenmesine ek olarak, düşük aygıt karmaşıklığı, uzun pil ömrü ve önemli ölçüde kapsama alanını genişletmeyi içerir. Bu tür hizmetler genellikle serbest gecikme gereksinimine sahiptir (Xingqin & Namyoon, 2021, s. 6).

5G'nin yetenekleri, çok çeşitli uygulamalara ve hizmetlere her yerden erişim sağlayacaktır. Bunlar artan esneklik, süreklilik ve enerji tüketiminde önemli bir azalma ile çok daha yüksek kaynak verimliliği ile sağlanacaktır. Aynı zamanda güvenliği ve gizliliği sağlamaktadır. Ayrıca 5G, kapasitede büyük ölçüde iyileştirmeler ve artan kullanıcı veri hızları sağlar. Özellikle, mobil cihazlarda 3D telepresence[6] gibi hizmetleri desteklemek için 10-12 Gb/sn düzeyinde en yüksek veri hızları gerekecektir. Ayrıca bir stadyumu 50 Mb/sn hızında sosyal ağlarda olayı aktaran 30.000 cihazla kapatmak için 10 Tb/s/km² kapasite gerekecektir. Ayrıca, ultra duyarlı mobil bulut hizmetleri sağlamak ve etkileşimli uygulamaları desteklemek için 5 ms'lik uçtan uca gecikmelere ihtiyaç vardır. Geleceğin 5G altyapısının, tek bir video iletimi için (kanal kodlamadan önce) 35-50 Mb/sn ile başa çıkması

[6] Sanal gerçeklik teknolojisinin, özellikle makinelerin uzaktan kontrolü veya uzak olaylara görünür katılım için kullanılmasıdır.

ve veri akışını aşağıdakilere uyarlamak için ağdaki ses alanı ve ışık alanı işlemlerinin çoğunu gerçekleştirmesi beklenmektedir (Sharad & Chavda, 2016, s. 81).

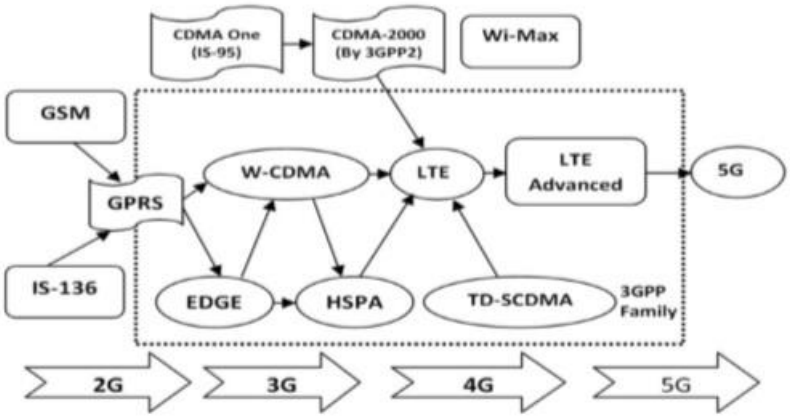
5G, 4G'den 20 kat daha hızlıdır. 1 Gbps'de çalışırken, minimum 20 Gbps en yüksek indirme hızına sahiptir. Düşük gecikme, 5G'nin en önemli özelliklerinden biridir ve bu teknolojiyi, uzaktan araç kontrolü gibi hızlı yanıt gerektiren kritik uygulamalar için son derece uygun hale getirir (Chitti vd., 2019, s. 1).

5G'nin ana özelliklerini şu şekilde listeleyebiliriz:

- 5G, WWWW sistemini yüksek oranda desteklemektedir.
- 5G, yüksek hızlar ve kapasiteler sağlama konusunda daha iyidir.
- 5G, saniyede gigabit cinsinden büyük bir veri yayını sağlamaktadır.
- 5G, çoklu ortam gazeteleri, yüksek çözünürlükte çevrimiçi televizyon programları (HD seviyesinde) hizmetleri için daha hızlı bant genişliği sağlamaktadır.
- Önceki nesillere göre daha hızlı iletişim hızları vardır.
- 5G ayrıca daha büyük telefon belleği, arama hızı, ses/videoda netlik sağlar (Chitti vd., 2019, s. 2).
- 5G'den gelen bilgiler daha doğru ve güvenilir sonuçlar düzenlemektedir.

Şekil 3.3

Mobil Ağ Teknolojilerinin İlerleme Fazları. Survey of Development Trends in 5G Mobile Wireless Networks. Shoewu vd., 2020, s.2



5G konsepti, çok yüksek verime hızına sahip ağ kavramlarına dayanmaktadır. 5G'nin elde taşınır cihazlara yapay zeka yetenekleri sağlaması beklenmektedir. 5G ayrıca aşağıdakiler için desteğe sahip olacaktır:

- Yerel ağlar için çok noktalı dağıtım hizmeti.
- Dikey frekans bölmeli çoğullama.
- Yüksek irtifa stratosferik platform istasyon sistemi.
- Çok işlevli hizmetler (Chitti vd., 2019, s. 3).

Milimetre dalga spektrumunu kullanan bu yeni arayüz, aynı coğrafi alanda daha fazla cihazın kullanılmasını sağlar; 4G, kilometrekare başına yaklaşık 4000 cihazı destekleyebilirken, 5G yaklaşık bir milyon cihazı destekleyecektir. Bu, sınırlı hava sahasında kesintisiz olarak daha fazla Netflix akışı, sesli arama ve YouTube anlamına gelmektedir (Vella, 2022).

3.5.1. 5G Tasarım Prensibi

5G'nin tasarımı, yüksek işlenebilirlik sağlayacak ve bir hizmet yaklaşımıyla yönlendirilecektir. Ağ, geniş bir kullanım gereksinimleri yelpazesi için esnekliğe ve hızlı ayarlanabilirliğe sahip olacaktır (Sharad & Chavda, 2016, s. 82).

5G, programlanabilir bir şekilde yeni iş modellerine izin vereceğinden, çeşitli ağ ve hizmet uygulama geliştiricileri için destek almak için uygulama programlama arayüzleri, kaynaklar, bağlantı ve hizmet etkinleştiriciler gibi farklı seviyelerde mevcut olmalıdır. Beklenen yüksek verim hedeflerini karşılamak için küçük hücreler ultra yoğun ağlar (UDN) ile değiştirilecektir. Cihazdan cihaza, kişiden cihaza ve kişiden kişiye iletişim 5G kapsamında olacaktır, böylece geleceğin altyapısı akıllı arabalar, akıllı şebekeler, akıllı şehirler, akıllı fabrikalar gibi her yerde akıllı bağlantıya doğru itilecektir. Ayrıca cihazdan cihaza (D2D) ve hareketli ağlar (MN) gibi yeni modeller de teşvik edilecektir (Sharad & Chavda, 2016, s. 82).

Özellikle gecikme ve güvenilirlik açısından beklenen iş ve performans gereksinimlerini karşılamak ve yeni iş modellerini ve yapılarını desteklemek için, şu anda öngörülebilir olanın ötesinde 5G mimarisi önceki nesillere göre değişecektir. 5G altyapısının ne olacağına dair böyle bir görüşün gerçekleştirilmesi için, tüm farklı 5G alt sistemleri ve arayüzlerinin yanı sıra bunların genel 5G alt katmanına entegrasyonunun modern işletim

sistemi mimarilerinden etkilenmesi gerekir (Sharad & Chavda, 2016, s. 82). Son zamanlardaki mobil ağlar, ulaşım ağı altyapılarının üzerinde bir kaplamadır, bu nedenle mimari ve yazılım hesaplamalarının temel ilkeleri, 5G'nin bir yerel hizmet ve/veya ağ uygulamaları grubu olarak tasarlanmasını ve erişim dışı tüm temel prosedürlerin entegre edilmesini önerir (Sharad & Chavda, 2016, s. 82).

3.5.2. 5G ve 4G Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi

Üçüncü nesil mobil ağ ile karşılaştırıldığında, 4G, daha önce imkansız olan kaliteli video akışını ve hareket halindeyken aramayı etkinleştirmiştir, bu da canlı televizyonun artık günlük işe gidip gelirken rutin olarak izlendiği anlamına gelir. Bununla birlikte, daha fazla video akışı ağdaki tıkanıklığı arttırmıştır (Vella, 2022). Tutela'da endüstri analizi başkanı Chris Mills, "4G, spektrum blokları arasında ne kadar veriyi hızlı bir şekilde aktarabileceğinin teknik sınırlarına ulaşıyor. 5G ve 4G arasındaki en büyük fark, bu tıkanıklığın ortadan kalkacak olmasıdır." diye açıklamıştır (Vella, 2022).

5G'nin 4G'den en büyük farkının, IoT bağlantılı dünya için bir ağ geçidi olacağı tartışılabilir. 5G ağ oluşturmanın sonraki yinelemelerinin, veri odaklı endüstriler, akıllı şehirler ve altyapı yönetimi için devrim niteliğinde olması beklenmektedir çünkü aynı alanda daha fazla cihazın güvenilir, güvenli ve kesintisiz çalışması mümkün olacaktır. Genel olarak, kullandığı yeni teknolojiler, spektrum ve frekanslar nedeniyle 5G, 4G'ye göre çeşitli avantajlara sahiptir; daha yüksek hızlar, daha az gecikme, daha fazla sayıda bağlı cihaz için kapasite, daha az parazit ve daha iyi verimlilik. (Vella, 2022).

3.5.2.1. Hız:

Video konferans ve bulut bilişim gibi iş uygulamaları için LTE teknolojisi çok önemli olduğu için ek hız artışı sağlamaktadır. 4G ayrıca Skype gibi veri arama hizmetlerinde en yoğun zamanlarda bile uygun maliyetli, istikrarlı uluslararası aramalara olanak tanımıştır. Ancak 5G'de iletişim, ofis hizmetleri adına mobil internet hizmetleri sağlamak neredeyse gerçek zamanlı olacak kadar çok hızlı olacaktır. İlk başta 5G ile ilgili araştırmayı başlatan Çinli teknoloji devi Huawei'nin dediği gibi 5G teknolojisi, mobil

hizmetlerin herhangi bir zamanda herhangi bir yerde, insanlardan ve topluluklardan fiziksel nesnelere, süreçlere, içeriğe, çalışma bilgisine, zamanında ilgili bilgilere ve her türden mallara tamamen esnek, güvenilir ve güvenli yollarla herhangi bir ağa veya cihaza bağlanmasına izin verecektir (Chitti vd., 2019, s. 4).

5G'nin ne kadar hızlı olacağının bir örneğini vermek için, Huawei, 8 gigabaytlık bir HD filmin indirme süresinin sadece 6 saniye olacağını öngörmektedir. Kıyaslayacak olursak 4G'de 7 dakika ve 3G'de bir saatten fazla olacağı pratik olarak tahmin edilmektedir (Chitti vd., 2019, s. 4).

Vodafone'a göre ise 5G, 4G'den yaklaşık 10 kat daha hızlı cihaz hızları vaat etmektedir, yani yüksek kaliteli, ultra yüksek çözünürlüklü 4K görüntülü aramalar ve indirmeler akıllı telefonlara ve tabletlere daha da hızlı teslim edilecektir. 20 milisaniyeden daha kısa veri aktarımı standart olacaktır (Vella, 2022).

3.5.2.2. Kararlılık ve Taşınabilirlik:

İş açısından kritik mobil işlevlerin çevrimdışı duruma gelmemesini sağlayan ve çalışanlara her yerde tam donanımlı bir sanal ofis sağlamak için gerekli hızı temin eden 5G, daha fazla ağ yeterliliği sağlar. Yakın gelecekte, 5G'nin geniş bant hizmetleri gibi sabit hat hizmetlerine uygun maliyetli bir alternatif olduğu kanıtlanabilir. Mobil veriler, geniş bant ağların erişimi dışında çalışan veya yavaş sabit hat hizmetinden muzdarip işletmeler için cevap olacaktır. Mobil veri istasyonları kurmanın maliyeti fiber optik kabloları kurmaktan çok daha düşük olduğundan, operatörler 5G'nin sabit hatlara alternatif olarak kırsal alanlara ulaşmak için kullanılabilecek kadar hızlı olduğuna karar verebilir (Chitti vd., 2019, s. 4).

3.5.2.3. Gecikme Süresi:

Canlı yayıncılık konusunda da önemi büyük olan gecikme süresi 1 ms’nin altına inecektir. Nokia, 5G'nin "neredeyse sıfır gecikme ile ölçeklenebilir ve esnek bir hizmet deneyimi" sağlayan bir sistem olacağına inandıklarını belirtmiştir. Burada bahsedilen gecikme, bir veri paketinin bir ağ veya ağlar dizisi arasında hareket etmesi için gereken süredir (Chitti vd., 2019, s. 4).

3.5.2.4. Daha Geniş Frekans Bantları:

4G LTE teknolojisi yalnızca daha düşük frekans bantlarını kullanabilmektedir. Şu anda sadece 6 GHz'e kadar çalışabilirken, 5G'nin radyo bantları 30 GHz ile 300 GHz arasında herhangi bir yerde işleyebilecektir. Bu çok büyük bir yükseltme ve mobil cihaz kullanımına büyük iyileştirmeler getirecektir. Bu kadar yüksek bir frekansta çalışabildiğinden, tüketiciler büyük hız artışları elde edecektir ve bunun nedeni, büyük bir veri kapasitesi desteğine sahip olmasıdır. Ayrıca, 5G dalga boylarını kullanma şekli nedeniyle çok daha fazla kişiye süper hızlı veri hızları sağlayabilecektir (Chitti vd., 2019, s. 5).

3.5.2.5. Bilgi Güvenliği

LTE, cep telefonları söz konusu olduğunda, yüksek hızlı kablosuz iletişim için en çok kullanılan standartlardan biridir. 4G sistemlerinin ağ mimarisinin katmanları göz önüne alındığında, LTE büyük güvenlik engellerinden muzdariptir. Bunlar arasında, elde tutulan cihazı kullanan kimliği doğrulanmamış kullanıcı, hatalı coğrafi konum izleme, hizmet reddi saldırıları ve veri değişikliği sayılabilir. 5G mobil teknolojisi hala gelişmektedir ve bu nedenle güvenlik faktörlerini geliştirmek için çok fazla alan vardır. Sürücüler kullanımlarına göre kategorilere ayrılarak gizlilik politikaları yeniden tanımlanabilir. Buna eklenebilecek diğer faktörler, belirli bir hizmetin sunumu için yeni güvenlik modellerinin geliştirilmesidir. Bulut bilişim, 5G çerçevesinin bir parçasını oluşturduğundan, gizliliği de korunacaktır (Chitti vd., 2019, s. 5).

5G, aşağıdakileri içeren son derece güvenli, esnek ve çevik bir sistem oluşturmak için sanal olarak dağıtılmış, katmanlı bir güvenlik tasarımı ve kablosuz teknoloji kullanır:

- Dağıtılmış Hizmet Reddi (DDoS) algılama ve azaltma.
- Kablosuz arayüz için daha güçlü şifreleme ve her cihaz için IMSI şifrelemesi.
- Aboneler farklı taşıyıcılar arasında dolaşırken önceki teknolojideki güvenlik açıklarını ve olası saldırıları azaltmak için Güvenlik Kenarı Koruma Proxy'si.
- Uyarlanabilir güvenliği sağlayan NFV ve SDN aracılığıyla Sanallaştırılmış Ağ işlemleri (Shoewu vd., 2020, s. 4).

Tablo 4

4G ve 5G'nin Farklılıkları ve Karşılaştırılması

Parametre	4G	5G
Dağıtım	Dağıtıldı	Dağıtım aşamasında
MIMO	Düşük order	Yüksek order
Multiplexing	CDMA	CDMA & BDMA
Kullanılan temel kavramlar	Wi-max ve LTE	WWWW
Veri İletim hızı	Orta-Yüksek	Çok Yüksek
Kararlılık	Yüksek	Çok Yüksek
Bant Genişliği	200 Mbps	>1 Gbps
Ortalama Hız	25 Mbps	200-400 Mbps
Gecikme	20-30 milisaniye	<10 milisaniye

Review on 5G over LTE. Chitti vd., 2019, s. 5

3.5.3. 5G Teknolojisinin Uygulamaları

Hem insan merkezli hem de makine merkezli hizmetlere yönelik gelecekteki talepleri aynı anda karşılamak için, bitişik ve geniş spektrumlu bant genişliği kullanma yeteneğine sahip teknolojiler gerekir; esnek kaynak tahsisi ve paylaşımı için planlar; değiştirilebilir hava arayüzleri; çevik erişim teknikleri; gelişmiş çoklu anten ışın oluşturma ve ışın izleme ve çoklu giriş ve çoklu çıkış teknikleri; yeni radyo kaynak yönetimi algoritmaları, bunlardan sadece birkaçıdır (Sharad & Chavda, 2016, s. 83). 5G teknolojisiyle deneyimlenebilecek bazı uygulamalar listelenmiştir:

- Erişim ve bölge sorunlarıyla artık sınırlama olmayan gerçek kablosuz bir dünya.
- Yapay zeka (AI) özelliklerine sahip giyilebilir cihazlar.
- İnternet protokolü sürüm 6 (IPv6), burada bir geçici mobil IP adresi, konuma ve bağlı ağa göre atanır.
- Tek bir küresel standart.

- Her yerde bilgi işlem sağlayan yaygın ağlar: Kullanıcı aynı anda birkaç kablosuz erişim teknolojisine bağlanabilir ve bunlar arasında sorunsuz bir şekilde hareket edebilir, bu erişim teknolojileri bir 2.5G, 3G, 4G veya 5G mobil ağlar, Wi-Fi veya başka herhangi bir gelecekteki erişim teknolojisi olabilir. 5G'de konsept, birden fazla eşzamanlı veri aktarım yolu olarak daha da geliştirilebilmektedir.
- Akıllı radyo olarak da bilinen bilişsel radyo teknolojisi: Uyarlanabilir bir şekilde kullanılmayan spektrumu bularak ve iletim şemasını halihazırda spektrumu paylaşan teknolojilerin gereksinimlerine uyarlayarak farklı radyo teknolojilerinin aynı spektrumu verimli bir şekilde paylaşmasına izin vermeye yaramaktadır. Bu dinamik radyo kaynak yönetimi, dağıtılmış bir şekilde elde edilir ve yazılım tanımlı radyoya dayanır.
- Yüksek irtifa stratosferik platform istasyonu (HAPS) Sistemleri: 5G iletişim sistemlerinin radyo arayüzünün, bir Kore araştırma ve geliştirme programında, ışın bölmeli çoklu erişim (BDMA) ve grup işbirlikli röle tekniklerine dayanması önerilmektedir (Boughanja & Tomader, 2020, s. 1086).

3.5.4. 5G ve Spektrum

Literatürde bazı hizmetler için 5G erişim ağlarının, çok yüksek bir toplam sistem kapasitesinde sağlanabilmesi için birkaç yüz MHz'den birkaç GHz'e kadar çok geniş bitişik taşıyıcı bant genişlikleri gerektireceği düşünülmektedir. Geniş bitişik bant genişliklerinin gereksinimlerini desteklemek için, 6 GHz'in üzerindeki taşıyıcı frekanslarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu tür hizmetler için herhangi bir yeni bant düşünüldüğünde, bu bantları kullanan veya kullanmayı planlayan diğer hizmetlerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve hatırlanması gerekecektir. Bunları korumak için, bu spektrumdaki araştırmalar uzun vadeli yatırımları hesaba katmak zorundadır (Sharad & Chavda, 2016, s. 84).

Video uygulamaları ve sürekli artan akıllı telefon, tablet ve makine iletişimi kullanımı ile mobil veri trafiğinin çeşitli raporlara göre beklentilerin üzerinde büyümesi beklenmektedir. Bunlar, 2013 ile 2018 arasındaki beş yıllık dönemde yıllık yaklaşık %45 ile %65 büyümeyi göstermiştir (Sharad & Chavda, 2016, s. 84).

Çok yüksek toplam sistem kapasitesi sağlayabilen daha yüksek taşıyıcı frekansları ile geniş bitişik bant genişliği elde edilebilmektedir. Artık etkin kullanıcı aralığı nispeten kısa olacaktır, bu nedenle belirli bir coğrafyada çok verimli frekansın yeniden kullanılması

olasılığı vardır. Daha yüksek taşıyıcı frekansı ile yayılma koşulları, kablosuz hizmetler için geleneksel olarak kullanılan düşük frekanslardan daha fazla talep edilir hale gelmektedir. Yol kaybı ve kırınım kaybının her ikisi de daha şiddetli hale geldiğinden, atmosferik etkiler hesaba katılmalıdır ve yönlü antenlerin kullanılması gerekli hale gelmektedir. Sonuç, bir dereceye kadar temelde görüş hattı yollarına bağlı olan nispeten kısa bağlantılar olacaktır. Aslında, bu bir dezavantajdan ziyade bir fayda olarak düşünülebilmektedir, yüksek kapasite sağlamak için yoğun kentsel ortamlarda hücre boyutları küçülmektedir. Ayrıca, 3D ışın oluşturma ve büyük MIMO teknikleri gibi teknolojideki gelişmeler, yüksek frekans bantlarıyla birlikte gelen kısa dalga boylarından yararlanırken tam potansiyellerine ulaşacaktır (Sharad & Chavda, 2016, s. 84).

Spektrum yönetimi yöntemlerine bakarsak karasal ve uydu operatörlerini ve hizmet sağlayıcılarını uzun vadede ağlarda, hizmetlerde ve spektrumda tutmak ve istikrarlı ve öngörülebilir bir düzenleyici ve spektrum yönetimi ortamını sürdürmek çok önemlidir. Mobil lisanslı spektrum atama yöntemleri, ağlara ve altta yatan spektruma uzun vadeli yatırımlar için istikrarın sağlanması açısından önemini korumaya devam edecektir. Spektrum kullanımını iyileştirmek için, yeni tekniklerin ve teknolojilerin, uygulamalar ve hizmetler arasında uzun vadeli bir arada yaşamayı desteklemesi beklenebilir. Daha yüksek frekans bantları ve gelişmiş düzenleyici araçlar kullanan yeni teknolojiler, 5G sistemleri için bazı yeni spektrum birlikte yaşama fırsatları sağlayabilir (Sharad & Chavda, 2016, s. 84).

6 GHz üzerindeki frekanstan yararlanmak ve mobil uygulamalar için daha fazla bant genişliği sağlamak için spektrumu daha yüksek bir frekansla daha kullanılabilir hale getirme amacıyla yeni neslin düzgün çalışması için bazı alınan önlemler şu şekilde listelenebilir:

- Spektrum paylaşımı: Kablosuz geniş bant uygulamalarının birden çok siteye atanmış bantları çalıştırmasını sağlayacak teknolojilerdir.
- Spektral verimlilik: Belirli bir hizmet düzeyini sağlamak için gereken bant genişliğini en aza indirmektir.
- Gelişmiş MIMO: daha yüksek modülasyon ve daha düşük sinyal çıkışı için kullanılmaktadır.
- Yoğunlaştırma: 5G iletişim sistemi, özellikle yoğun bir küçük hücre ağı uygulayarak mobil müşterileri baz istasyonlarına yakınlaştırmayı amaçlamaktadır.

Tüm bu gelişmeler, tek bir kullanıcı için gereken spektrum miktarını azaltır, bu da dolaylı olarak daha fazla kullanıcıya artan hizmet kalitesi (QoS) ile hizmet vermek için daha büyük bir spektrum kullanılabilirliğine yol açar (Boughanja & Tomader, 2020, s. 1091).

3.5.5. 5G Teknolojileri

Şimdiye kadar, analog FM hücresel sistemine dayanan 1G'den 4G'ye kadar dört nesil hücresel iletişim sistemi zaten benimsenmiştir. Veri oluşturma ve bağlantılı cihazlara olan büyük ilgi ile geçmiş nesil sınırlarına ulaşmıştır. 5G'nin ortaya çıkışı, mobil oluşumlara çeşitli avantajlar sağlamıştır ve onunla birlikte cihazlar arasındaki iletişimi geliştirmek için bazı yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır: milimetre dalgaları (mm Wave), küçük hücre, büyük MIMO (veya akıllı mikro antenler), hüzme oluşturma ve tam çift yönlü (Boughanja & Tomader, 2020, s. 1090).

3.5.5.1. Massive MIMO:

Massive MIMO temelinde Şekil 3.4'te görüldüğü üzere bir anten teknolojisidir. Burada amaç, sistemin daha yüksek verim elde etmesine izin vermektir. Massive MIMO, veri kapasitesini arttırarak çeşitli müşterilere aynı anda her yöne birden fazla hizmet sağlayabilir (Boughanja & Tomader, 2020, s. 1090).

Şekil 3.4

*Massive MIMO ve Kullanımı.*5G, Vehicle to Everything Communication: Opportunities, Constraints and Future Directions. Boughanja & Tomader, 2020, 1092



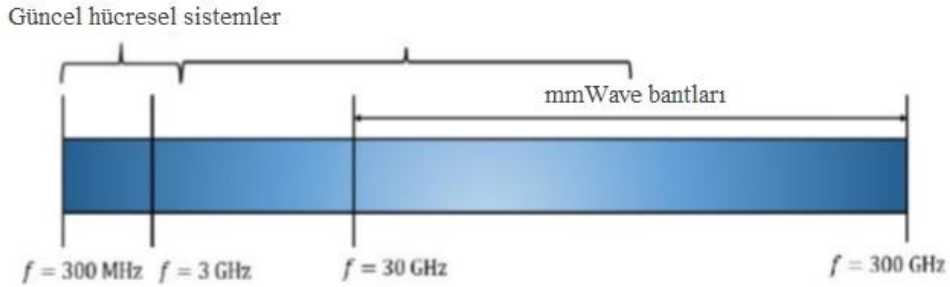
Devamında geliştirilen 3D MIMO uygulaması, spektral etkinlik açısından yüksek performans sağlamak içindir. MIMO, ilk olarak LTE sisteminde uygulanmış ve üçüncü nesilden sonra iyileştirilmiştir. Eski sistem geleneksel antenlerden ve bir sütunda yığılmış 8 ile 10 elemandan oluşmaktadır, ancak evrimle birlikte kısıtlama ayarlamaları yapılmıştır ve ağ yakınsaması için aşağı doğru bir eğim açısı sağlanmıştır. Bu durumda anten üzerindeki herkese aynı radyo frekansı (RF) darbeleri iletilebilmiştir. Bu şekilde 3D MIMO uygulaması ile sinyal hem yatay hem de dikey seviyelerde eş zamanlı olarak izlenecektir (Boughanja & Tomader, 2020, s. 1091).

3.5.5.2. Milimetrik Dalga (mm Wave):

Mobil kablosuz sistemler her zaman 300 MHz - 3 GHz bandında olmuştur. Bununla birlikte, mobil veri trafiğindeki büyük artış ve bağlı cihazların sayısı ile frekans bandının sona ermesiyle spektrum tıkanır ve bir sinyal kesintisi yaratır. Önerilen çözüm milimetre dalgaları kullanmaktır. Bu durum 30 ile 300 GHz arasındaki dalgayı ifade eder ve dalga boyları 1 ile 10 mm arasında değişmektedir (Boughanja & Tomader, 2020, s.1090).

Şekil 3.5

Şimdiki ve Yeni Nesil Haberleşme Sistemlerinin Frekans Spektrumu. 5G, Vehicle to Everything Communication: Opportunities, Constraints and Future Directions. Boughanja &Tomader, 2020, 1090



Geçmiş nesil hücresel mobil sistemler 6 GHz frekanslarının altında çalışır, ancak mm Wave frekanslarının uygulanmasıyla çok daha fazla spektrum elde edilebilir ve çok sayıda bağlı cihazla başa çıkabilir.

3.5.5.3. Küçük Hücreler (Small Cells):

Yönetici tarafından kontrol edilen düşük güçlü radyo anahtarlama ekipmanı olarak kabul edilir. Küçük bir hücre, normal kulelere çok yakın olacak ve tüm engelleri atlayarak sinyali herhangi bir bağlantı kopması veya sinyal zayıflaması olmadan iletecek küçük bir güç baz istasyonu olarak tanımlanabilmektedir (Boughanja& Tomader,2020, s.1090).

3.5.5.4. Hüzmeleme (Beamforming):

5G'de kullanılan anten sayısı göz önüne alındığında, sinyal baz istasyonundan cihazlara izlenmeden iletilecektir. Bu teknik, sinyalin yönlendirilmesine ve kullanıcıya odaklanmasına izin vermektedir (Boughanja & Tomader, 2020, s. 1090).

3.5.5.5. Full duplex (FD):

Bu teknik, cihaza aynı frekans bandında veri gönderme ve alma yeteneğini getirmektedir. FD aynı zamanda ağın verimliliğini arttırmak için kullanılmaktadır (Boughanja & Tomader, 2020, s. 1090).

3.5.5.6. Nesnelerin İnterneti (IoT):

Nesnelerin İnterneti, geleceğin en dikkat çeken teknolojilerinden biridir. Ağ üzerinden iletişim halinde olabilen hernangi bir cihaz veya nesne ile IoT sağlanmış olur. IoT, Çin'de hayatın her alanında belirli bir ölçüde uygulanmış ve ilgili çalışmaların geliştirilmesini kolaylaştırmıştır, ancak IoT'nin kapsamı artmaya devam ettikçe, ağ dahil

edilmiştir. Bu durumda nesne doğal olarak daha fazla hale gelecektir. Bu eğilim, nesnelerin interneti ve ilgili teknolojilerin sürekli gelişmesiyle birlikte, IoT sisteminin fiili uygulama sürecinde daha fazla iletişim ve güvenlik sorunuyla karşı karşıya kalacağı anlamına gelir. 5G mobil iletişim ağı ve IoT kombinasyonu, yukarıdaki sorunlardan kaçınmanın ana yoludur. 5G mobil iletişim teknolojisinin desteği ile IoT'deki her türlü bilgi kablosuz ve yüksek hızda işlenecek, iletim ve etkileşim sırasında ortaya çıkan bilgi sorunları doğal olarak düzelecektir (Shoewu vd., 2020, s. 3).

3.5.5.7. Gelişmiş Mobil Geniş Bant (eMBB):

Bu tür kullanım durumu, mevcut mobil telekomünikasyon standartlarına dayalı geleneksel mobil geniş bant bağlantı senaryosunun doğrudan bir uzantısıdır. Bu kutu seti, her yerde ve yoğun yerleşim alanlarında geniş bant erişimini ele alır. Bu daha sonra kullanıcıya multimedya ve 3D video gibi çoklu hizmetler sağlamaktadır (Boughanja & Tomader, 2020, s. 1091).

3.5.5.8. Ağ Dilimleme (NS):

Ağ dilimleme, tüm ağ segmentlerini kapsayan uçtan uca bir kavramdır. Ortak bir altyapı platformunda birden çok mantıksal, bağımsız ve bağımsız paylaşılan veya bölümlenmiş ağın eşzamanlı dağıtımını sağlamakta ve uçtan uca ağları çoğullamaktadır. Ağ kaynakları, bağlantı, bilgi işlem ve depolama kaynaklarını içerir. Ağ dilimleme, mantıksal ağ bileşenlerini temeldeki fiziksel ağ kaynaklarından soyutlayarak, yalıtarak, yöneterek, yazılımlaştırarak ve ayırarak ağ oluşturma perspektifini önemli ölçüde dönüştürür ve bu şekilde ağ mimarisi ilkelerini ve yeteneklerini geliştirir (Galis & Chih-Lin, 2017, s. 2).

3.5.5.9. Çok Erişimli Uç Bilgi İşlem (MEC):

MEC, kullanıcıların uç düğümlerde ihtiyaç duyduğu hizmetleri ve bilgi işlem işlevlerini sağlayan bir ağ çözümüdür. Uygulama hizmetlerini ve içeriğini kullanıcılara daha

yakın hale getirir ve ağ işbirliğini uygulayarak kullanıcılara güvenilir ve nihai hizmet deneyimi sunar. 5G ile kullanım noktasında, uç bilgi işlem, kritik görev ve gelecekteki IoT hizmetleriyle birlikte düşük gecikmeyi desteklemek için gereken temel teknolojilerden biri olarak tanımlanır. Bu çerçevede sistem, en başından, üstün performans ve deneyim kalitesi sağlamak amacıyla uç bilgi işlem için verimli ve esnek destek sağlamak üzere tasarlanmıştır (Kekki vd., 2018, s. 6).

3.5.5.10.Kullanıcı Merkezli Ağ:

Kullanıcı gereksinimlerine ve ağ koşullarına bağlı olarak tüm ağ üzerinde en uygun operatör ortamını sağlamak için kullanılır. Bu nedenle, daha iyi kullanıcı merkezli bir deneyim sağlamak için 5G ağı, daha fazla bilgi veya uzmanlık olduğunda ağın kullanıcıya daha etkili bir şekilde hizmet edebileceği bir kullanıcı bağlamı farkındalığını ele almalıdır; bu, ağa ne kadar fazla bilgi yüklenirse, o kadar iyi demektir. Ayrıca trafik, güvenlik, taşıma izolasyonu hesaplama ve depolama kaynaklarını içeren MEC işlevselliğine sahip olmalıdır (Boughanja & Tomader, 2020, s. 1091).

3.5.5.11.Ağ Sanallaştırma (SDN/NFV):

Ağ işlevlerinin sanallaştırılmasını ve yazılım tabanlı ağ oluşturmayı kullanarak, altyapı katmanlarıyla esneklik ve daha sıkı entegrasyon sağlayacak bazı yeni tasarım ilkeleri mümkündür. NFV, sunucu sanallaştırma ve kurumsal bilgi teknolojileri sanallaştırmadaki son gelişmelerden maksimum avantajları alırken; SDN, kontrol işlevlerinin mantıksal olarak merkezileştirilmesini sağlar ve sunucu ölçeğini genişletme ve bulut teknolojilerindeki gelişmelere bağlıdır (Jain & Chavda, 2016, s. 83).

3.5.5.11.1. SDN

Yazılım tanımlı ağ oluşturma (SDN), veri trafiğinin gönderildiği yere (kontrol düzlemi) karar veren sistemi, trafiği seçilen hedefe ileten temel sistemden ayırarak elde edilebilen ağları tasarlamak, oluşturmak ve yönetmek için yeni bir yaklaşımdır (Nunes vd., 2014). Donanım SDN anahtarları, büyük veri merkezlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak nispeten pahalı ve hacimlidirler, bu da daha küçük kurulumlarda kullanılmalarını engeller. Bu nedenle yazılımsallaştırılmış sanal anahtarlar ortaya çıkmıştır. Sanal makineleri (VM'ler) veya kapsayıcıları adanmış sunucular içinde bağlarlar. Sanal anahtar çözümleri hem tescilli hem de açık kaynak olabilir. Bu tür dinamik anahtarlar, farklı yollar aracılığıyla bant genişliğini optimize etmek veya paketleri doğrudan yakındaki bir işleve yönlendirerek gecikmeyi azaltmak için sanal yollara ve bağlantı yönetimine izin verir. Sanal anahtar, işlevlerin uygulanmasından sorumlu sanal bir SDN denetleyicisi tarafından kontrol edilmektedir (Lacaud, 2020, s. 59).

3.5.5.11.2. NFV

Ağ işlevleri sanallaştırması (NFV), mevcut operasyon, yönetim, bakım ve tedarik modeline bir dizi yönetim ve düzenleme işlevinin eklenmesine izin vererek ağ oluşturmaya yeni yetenekler eklemektedir. NFV'nin ortaya çıkmasından önce, ağ işlevi uygulamaları genellikle kuruldukları altyapıya bağlıdır. Şimdi, NFV gerçek mevcut donanıma bir sanallaştırma katmanı uygulayarak kullandıkları hesaplama, depolama ve ağ kaynaklarından ağ işlevlerinin yazılım uygulamalarını tanıtır. Yazılım ve donanım ağı varlıkları arasındaki ayrıştırma, yeni bir dizi işlevi, yani sanallaştırma ağı işlevlerini (VNF'ler) ve bunlar arasındaki yeni bir ilişki kümesini ortaya çıkarmaktadır. VNF'ler, bir ağ hizmetini gerçekleştirmek için diğer VNF'ler ve/veya fiziksel ağ işlevleri ile zincirlenebilir. Ağ hizmetleri, sanal bağlantılar, VNF'ler ve bunlar arasındaki ilişkiler, NFV'nin ortaya çıkmasından önce mevcut olmadığından, bunların idare edilmesi yeni ve farklı bir yönetim ve orkestrasyon işlevleri seti gerektirmektedir (Lacaud, 2020, s. 60).

SDN ve NFV, 5G kullanım durumları için yaygın olarak kabul edilmektedir. SDN/NFV sistemleri, video kod dönüştürme ve veri önbelleğe alma gibi video akış işlevlerini dinamik olarak dağıtmaya, taşımaya ve çalıştırmaya izin vererek video akışı için

fırsatlar sunar. Aynı zamanda, sanal anahtarların yönlendirme yetenekleri, kaynak gerektiren akış hizmetlerine belirli sanal yollar tahsis etmek ve canlı video verilerini uygun akış işlevlerine yeniden yönlendirmek için kullanışlıdır (Boros vd., 2019).

3.5.6. Türkiye'de 5G Çalışmaları

Türkiye'de Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ile Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) öncülüğünde yerli/milli ürün, hizmet ve teknolojiler geliştirilmesini sağlamak amacıyla Yeni Nesil Mobil Haberleşme Teknolojileri Türkiye Forumu (5GTR Forumu) kurulmuş ve buradaki çalışma grupları tarafından 5G ve Ötesi Beyaz Kitap oluşturulmuştur. Beyaz Kitap'ta 5G ve ötesi yeni nesil mobil haberleşme sistemlerinde yerli ve milli, dünya pazarında yer alacak katma değeri yüksek ürün, hizmet ve teknolojiler geliştirmek amacıyla ulusal ve uluslararası seviyede kamu, sanayi ve akademinin iş birliği ile ekosistemdeki paydaşlarla çalışmalar yapılmasının amaçlandığı anlatılmaktadır.

BTK'nın 2019-2023 Stratejik Planında, 5G ile ilgili hedeflere de öncelik verilmiş, yeni nesil 5G haberleşme teknolojisinin ülkemizde kullanımı için gerekli çalışmaların yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu kapsamda mevzuatın 5G teknolojisi ile oluşan ihtiyaçlar çerçevesinde şekillendirilmesi, gelecekte kuruluşlara 5G frekans tahsisi yapılması, küçük hücre baz istasyonlarının kurulumunun desteklenmesi, 5G hizmetlerinin sağlanması için altyapı ihtiyaçlarının tespiti, uluslararası kuruluşların 5G'ye yönelik standardizasyon çalışmalarının yapılması gibi hedefler belirlenmiştir (BTK, 2019, s. 78).

Türkiye'de firmaların 5G'ye ilişkin uygulama ve teknolojileri test edebilecekleri ve katma değer oluşturabilecekleri bir ortamın oluşturulması hedeflenerek Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Hacettepe Üniversitesi, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türk Telekomünikasyon A.Ş, Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş. ve Vodafone Telekomünikasyon A.Ş. tarafından 5G Vadisi Açık Test Sahası İşbirliği Protokolü imzalanmıştır. 5G Vadisi Açık Test Sahası Projesi ile 5G konusunda çalışmalar gerçekleştiren tüm tarafların faydalanması, elektronik haberleşme sektörünün tüm paydaşları için yeni Ar-Ge fırsatlarına olanak sağlanması ve kamu-üniversite-işletmeci-sanayi işbirlikleri bağlamında etkili araştırmalar ve projeler yürütülmesine imkân sağlayacak bir platform oluşturulması hedeflenmektedir (BTK, 2019, s. 78).

Türkiye'de GSM şirketleri tarafından 5G çözümleri sağlama, mevcut frekansları ve 5G'nin henüz ihale edilmemiş spektrumlarını baz alan esnek şebeke altyapısını oluşturma

çalışmaları devam etmektedir. Ericsson ve Turkcell şirketleri 5G'nin Türkiye'deki ilk endüstriyel kullanım örneği olarak 5G teknolojisi ile gerçekleştirdikleri "Otonom Mobil Robot" demo uygulamasını gerçekleştirmiştir. Bu uygulama, ağ dilimleme teknolojisi ile hem genel hem de özel şebekede gerçekleştirilmiştir. Bu kullanımda ağ dilimleme, genel şebeke yatırımlarından faydalanan iletişim servis sağlayıcılarına, bağımsız 5G bağlantı hizmetinden faydalanmak isteyen kurumsal müşterileri için farklı bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (BTK, 2022, s. 45).

Temmuz 2022'de Türkiye'de 5G teknolojisi ilk kez test amaçlı kullanıma açılarak pilot bölge olarak seçilen İstanbul Havalimanı'nda hizmete sunulmuştur. Mobil cihazı 5G destekli olan ve 5G abonesi olan tüm kullanıcılar bu gelişme ile birlikte, İstanbul Havalimanı dış hatlar terminalinde 5G'yi deneyimleme şansı bulmuştur (Vodafone, 2022).

5G teknolojisinin kullanılmaya başlanma zamanı henüz net olmasa da Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 5G frekans ihalesi için 2023 yılını işaret etmektedir (Vodafone, 2022).

3.6. 5G'nin Ötesinde

Nano-çekirdeğin gelecekteki gelişimi, yapay zeka ile birleştiği için dünyayı olağanüstü bir gelecek beklemektedir. Akıllı robotların cep telefonunlarını kontrol edebilmesi, cep telefonlarının insan beyninin düşündü mesajı otomatik olarak yazabilmesi veya iletişim için herhangi bir spektruma ihtiyaç duyulmaması gibi durumlar mümkün görünmektedir (Kachhavay & Thakare, 2014, s. 1086).

6G teknolojisinin ne olacağı konusunda birçok beklenti mevcuttur. Google trendleri, 6G terimini arama motorlarında en çok aranan 17. kelime olarak derecelendirmiştir. Tahminlere göre, 6G sistemlerinin kullanıcılara her zaman ve her yerde akıllı ve kişiselleştirilmiş (veya göreve bağlı) hizmetler sağlaması beklenmektedir. Sensörler ve cep telefonları dahil milyarlarca kablosuz cihaz evlere, arabalara, binalara, fabrikalara, şehirlere ve herhangi bir ortama yerleştirilecektir. Bu cihazlar, ihtiyaç duyduklarında sık sık ağa bağlanabilecektir. Bu, her biri yüksek bilgi işlem yeteneklerine sahip dağıtılmış veri merkezleriyle etkileşime girerek istenen görev başına anlam bilgisi oluşturur. Sonuç olarak, yaklaşmakta olan 6G, yalnızca tüm kablosuz cihazları bağlamakla kalmayacak, aynı zamanda belirli bir ortamda kullanıcıların herhangi bir özel talebi için zamanında optimize edilmiş bilgiler sağlayarak bir paradigma değişikliği yapacaktır. Yeni akıllı bağlantı

hizmetleri sağlamanın, 6G'nin vizyonu olabileceği değerlendirilmektedir (Xingqin & Namyoon, 2021, s. 18).

Mobil teknolojiler konusunda dünya çapında bir şirket olan InterDigital'ın Başkan Yardımcısı Alan Carlton'a göre, "Şu anda gördüğümüz şey, 6G'ye yönelik araştırmaların başlangıcıdır. Şimdi başlayan yedi yıllık araştırma faaliyetleri gelecekte devam edecektir. Önümüzdeki 10 yıl içinde 5G'nin evrimi ile nereye gittiğimize bakarak tanımlayabilirim. " demiştir (Priestley, 2020).

BÖLÜM 4

YAYINCILIKTA YENİ NESİL AĞLARIN KULLANIMIYLA DEĞİŞEN GÖRÜNTÜ TEKNOLOJİLERİ

Önümüzdeki on yılda televizyon yayıncılığı, canlı yayın ve isteğe bağlı medya teknolojisi alanında önemli gelişmeler beklenmektedir. Bunlar, içerik oluşturma ve üretme araçları, içerik dağıtım yolları, izleyicilerin keyif alacağı deneyimler, içerikte gezinme ve cihazları kullanma şekilleriyle ilgilidir. Bu unsurlar arasında yakın ilişkiler vardır: örneğin, yeni tüketici cihazları (ultra yüksek çözünürlüklü ekranlar gibi) daha yüksek kaliteli içerik için bir heves yaratırken, yeni içerik teknolojileri tüketici deneyimini gerçek dağıtım araçlarından soyutlar (Saunders, 2021, s.50).

5G çağında, yüksek hızlı mobil veri kullanan hareket halindeki tüketiciler daha fazla miktarda içerik ve hizmete erişecektir. 5G'nin sunduğu fırsatlar, kablosuz veri ve iletişimin çok ötesine geçerek oyun, eğlence, müzik ve OTT video gibi pazarları kapsayacaktır.

4.1. Yeni Nesil Ağlar ve Görüntü Teknolojileri Uygulamaları

Günümüzde özellikle video cihazlarının veri trafiği üzerinde yoğun etkisi vardır. Videonun tüm mobil trafiğin %80'inden fazlasını oluşturacağı ve bu trafiğin üçte birinin yüksek kaliteli içerik olacağı bilinmektedir. İçeriğin yüklenmesi için saniyelerce beklenen günler geride kalmış görünmektedir.

Kasım 2020'de yayınlanan Ericsson Mobilite Raporuna göre, 2026'da dünya nüfusunun %60'ı 5G kapsama alanına erişecek ve 5G abonelikleri 3,5 milyara ulaşacaktır. Rapor ayrıca 5G başarısının başlayan yeni kullanım durumları ve uygulamalar tarafından da belirleneceğini öngörmüştür. Rapora göre video trafiğinde bazı noktalar üzerinde durulmuştur:

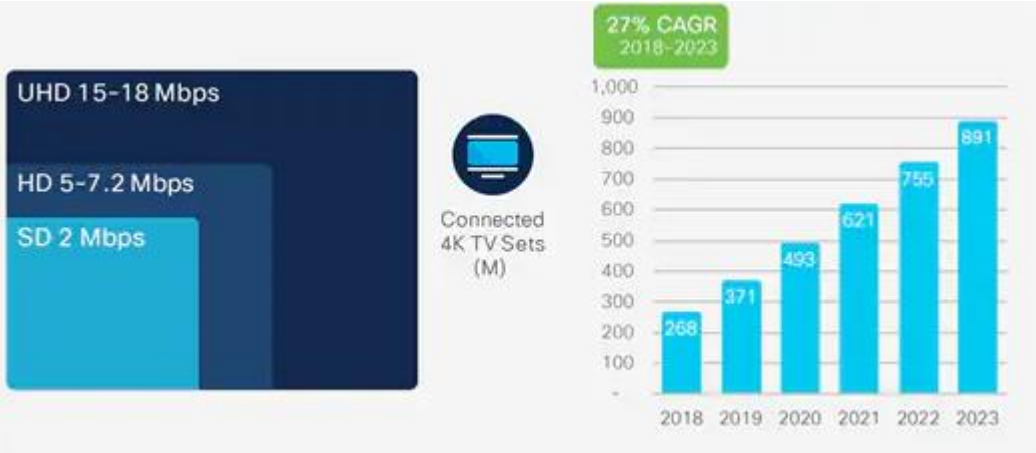
- 2026'da aylık 226 milyar gigabyte küresel mobil veri öngörülmüş olup 2019'dan bu yana %665 büyüme beklenilmektedir.
- Video trafiğinin, 2022 yıl sonuna kadar toplam mobil veri trafiğinin yaklaşık %80'ini oluşturacağı öngörülmüştür.

- Sosyal medya platformlarında yaklaşık 800 milyon kullanıcının canlı yayınlarla etkileşime girdiği görülmektedir.
- Canlı spor yayını tüketiminin büyük artışı dikkat çekmiştir. Örneğin 7,2 milyon kişi 2020 UEFA Şampiyonlar Ligi finalini Facebook Live'da izlemiştir.
- Etkili video canlı yayın ticareti, örneğin Taobao, 2018'de canlı yayın yoluyla 15 milyar dolarlık satış elde etmiştir (Ericsson Mobilite Raporu, 2020).

UHD veya 4K video akışının tanıtılması sonrası cihazların trafik üzerindeki video etkisi daha belirgindir. Yaklaşık 15 ile 18 Mbps'deki 4K video için bit hızı, HD video bit hızının iki katından ve SD video bit hızının dokuz katından fazladır. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere 2018'de %33 olan düz panel TV setlerinin 2023'e kadar üçte ikisinin UHD olacağını tahmin edilmektedir (Cisco, 2020).

Şekil 4.1

*2023'e Kadar, Bağlı Düz Panel TV Setlerinin 4K Olma Oranı.*Cisco Annual Internet Report, 2018–2023



Medyanın yapım aşaması, IP dağıtımı ve bulut bilişimin ortaya çıkmasıyla dönüşüm geçirmektedir. Dış yayın etkinlikleri için, günümüzün özel ve tescilli kamera sistemleri, uzaktaki kameraları buluta bağlamak için 5G iletişimleriyle güçlendirilebilmekte ve bu da, sahada minimum düzeyde ekipman ve personelle hızlı kurulum ve sökme olanağı sağlamaktadır (McLean, 2020).

Sözü edilen şekilde kullanılan hücresel sistemler, özellikle haber toplama çalışmalarında devrim yaratarak, gazetecilerin sadece basit bir sırt çantası veya kameraya monte edilmiş bir cihazla neredeyse her yerden canlı olarak katkıda bulunmalarına izin vermektedir. Ancak, bu tescilli cihazların birden fazla operatörün SIM kartlarıyla donatılması ve pratik olması için gereken bit hızını azaltmak için sıkıştırma kullanması gerekmektedir. Çoğu zaman, mevcut bant genişliği yalnızca bir kamera için yeterlidir, bu da bir haber bağlantısı için iyi olabilmekle birlikte bir spor karşılaşması için iyi değildir ve ağ tıkanıklığının performansı etkileyebileceği anlamına gelmektedir (Saunders, 2021, s. 51). Bu gibi sorunların üstesinden gelebilmek için 5G, 3GPP'nin en son mobil geniş bant standartlarındaki çalışmasıyla, diğerlerinin yanı sıra bir dizi avantaj sunacaktır:

- Daha yüksek kapasite: birden fazla kameranın desteklenmesine izin verir ve birleştirme teknolojisine ihtiyaç duymaz;
- Özel ağlar için geliştirilmiş destek: etkinlikler ve stüdyolar için ek yüksek kapasite sunma olanağına olanak tanır;
- Ağ dilimleme: yayıncılara, diğer ağ tıkanıklığından bağımsız olarak garantili bir kapasite verir;
- Sınır hesaplama: sinyallerin alım noktasına daha yakın işlenmesine ve üretim iş akışının düzenlenmesine olanak tanır (Saunders, 2021, s.51).

5G'nin içerik üretimi için kullanılması, Avrupa'daki büyük yayıncıların büyük ilgisini çekmektedir. Avrupa Yayın Birliği (EBU) ve 5G Medya Eylem Grubu (5G MAG), fikir birliği oluşturmak ve denemeleri kolaylaştırmak için aktif olarak çalışmaktadır (Saunders, 2021, s.51).

Medyanın dağıtım aşaması ise, görsel-işitsel içeriğin yayıncıdan tüketiciye taşınması sürecidir. Tarihsel olarak bu, yalnızca karasal vericiler kullanılarak yapılmıştır ve tüm içerik canlı olarak iletilip ve tüketilmiştir. Bugün dağıtım, canlı yayın hizmetlerini ve bunların kullanımda olan çok çeşitli dağıtım teknolojilerini, yani karasal yayın, uydu, kablo ve geniş bant IP dağıtımından 5G dahil gelecekte de mevcut olacak teknolojilere kadar dağıtımını içermektedir. Bu tür teknolojilerin bugün ulaştığı cihaz yelpazesi, geleneksel televizyon alıcılarını, set üstü kutuları ve hibrit cihazları (hem yayın hem de çevrimiçi hizmetlere erişebilen) içermektedir. Bilgisayarlar, tabletler, cep telefonları ve diğer cihazlar, çevrimiçi hizmetlere IP geniş bant üzerinden, normalde evdeyken Wi-Fi aracılığıyla ve hareket halindeyken mobil ağlar (veya daha önce içeriği indirmiş olarak) aracılığıyla erişir (Saunders, 2021, s.55).

Bu yolların her biri kısıtlamalara tabidir. İlgili dağıtım bölümlerinin gereksinimleri ve sınırlamaları (teknik ve sözleşmeye dayalı) ile alıcı cihazın yetenekleri, ayrıca canlı yayın durumunda, yüksek kaliteli kaynak materyali her bir dağıtım ortamının özelliklerine uyacak şekilde sıkıştırmak için Tablo 5'te de görüldüğü gibi farklı kodlayıcılar kullanılmaktadır (Saunders, 2021, s.55).

Yayıncılıkta 5G kullamındaki son teknoloji sistem olan DVB-I, ikinci bölümde de bahsedildiği üzere DVB yayıncıları ve 5G ağ operatörleri arasında işbirliğini kolaylaştıran evrensel bir anahtar teknoloji hizmet katmanı olarak işlev gören bir sistemdir. 5G tabanlı teknolojiler aynı zamanda içerik ve hizmet sağlayıcıların, genellikle yüklenebilir uygulamalarla arayüz oluşturan mobil cihazlara erişmesini sağlamayı vaat etmektedir. DVB-I hizmetlerinin kullanımında özel bir avantaj ise, 5G hizmetlerinin entegre DVB-I hibrit hizmetlerini, yani genişletilmiş hizmet kapsamı, daha düşük dağıtım maliyetleri, iyileştirilmiş kalite ve ek kullanıcı deneyimleri için temel yayın dağıtımının tek noktaya yayınla güçlendirildiği hizmetleri destekleme yeteneği olmasıdır (DVB, 2021).

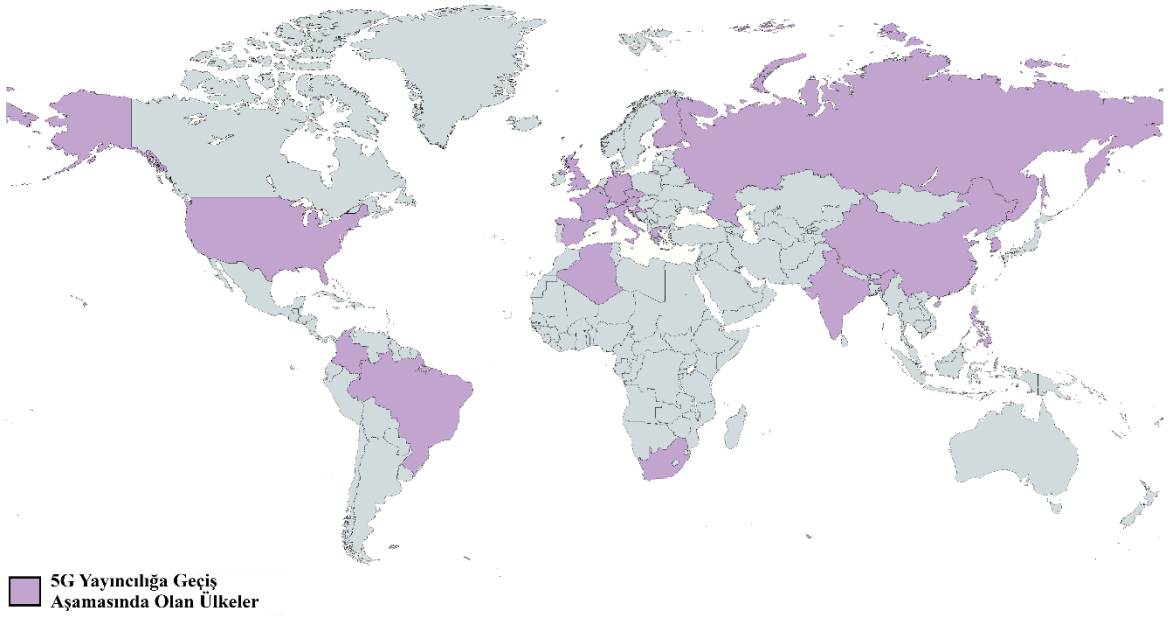
Qualcomm teknik standartlar direktörü Thomas Stockhammer, 'TV Over 5G' web seminerinde 5G yayınlı dijital televizyon yayıncılığı dağıtımının hazır olduğunu belirtmiştir. 5G yayınının sayısal televizyon için standardizasyonunun tamamlandığını ve spektrumun UHF bandı (yani 470- 698 MHz) Avrupa, Çin ve diğer bölgelerdeki sayısal yayınlar için kullanılabileceğini ve 5G yayın teknolojisinin, daha iyi performans ve verimlilik getirerek gelecek sürümlerde gelişmeye devam edeceğini söylemiştir.

LiveU şirketi ise, 5G ağ dilimlerinin uzaktan prodüksiyona nasıl yardımcı olabileceğini test etmek için Ericsson ve RAI ile ortaklık kurmuştur. Önceki bölümde bahsedildiği gibi ağ dilimleme, bir 5G ağını mantıksal olarak ayrı bölümlere ayırır ve gazetecilerin ve televizyon ekiplerinin veri yoğun video sinyallerini nerede olurlarsa olsunlar canlı olarak yayınlamalarına olanak sağlaması beklenir. Yapılan çalışmada testlerin bir parçası olarak 5G ağında bir dilim, ikinci dilime göre yaklaşık 60 Mbps sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu proje 5G'nin ve ağ dilimlemenin net bir şekilde ölçülebilir sonuçlar sağlayan çok önemli, kapsamlı bir denemesi olmuştur (Priestley, 2022).

Mobil ağların 5G'ye evrimi, bazı yayın hizmetlerinin dağıtımında kullanılma fırsatını müjdelemektedir. Özel bir ağ gerektirebilen 5G yayın modu ve karma mod (daha genel bağlantı ile entegre edilebilir) için standardizasyon geliştirmeleri devam etmektedir (Garro vd., 2020). 5G üzerinden DVB-I'ı tam olarak desteklemek için ilgili DVB spesifikasyonlarındaki güncellemelerin ise 2022'nin 3. çeyreğinde tamamlanması beklenmektedir (DVB, 2021).

Şekil 4.2

5G Aracılığıyla Yayıncılığa Geçiş Aşamasında Olan Bazı Ülkeler



5G aracılığıyla görüntü teknolojilerinde çalışmalar yapılarak yayıncılığa geçiş aşamasında olan bazı ülkeler Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bu çalışmaları yapan ülkelerden;

- ABD'de 2020 sonrası ATSC 3.0'a ek olarak 5G'ye artan ilgi vardır.
- Fransa'da Paris'te 5G yayıncılığı canlı testi yapılmıştır.
- Brezilya'da TV 3.0 projesi için teklifler alınmaya başlanmıştır.
- Güney Afrika'da Johannesburg'da 5G canlı yayın denemeleri 2020'de yapılmıştır.
- Rusya'da 2022 sonrasında 5G yayını, en son yayın teknolojisi olarak araştırılmaktadır.
- Kolombiya'da 2021'de Santiago de Tolú'da 5G radyo ve televizyon yayıncılığı deneme dağıtımı yapılmıştır.
- Cezayir'de 2022 Akdeniz Oyunları sırasında 5G yayını denemesi hazırlanmaktadır.
- Hırvatistan, İspanya, İtalya, Filipinler, Çin, Hindistan ve Güney Kore gibi ülkelerde de 5G yayıncılığı çalışmaları devam etmektedir (Taga, 2022).

Türkiye'de 5G çalışmaları çeşitli forumlar, çalışma grupları ve araştırma raporları ile devam etmektedir. Özellikle Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) mobil operatörlerle birlikte 5G denemelerine öncülük etmiştir. Bununla birlikte yayıncılık ve

görüntü teknolojilerinin 5G kullanımı çalışmalarında gelişmeler takip edilmektedir (Doğan, 2021, s. 102).

4.2. Artan İletim Kapasitesiyle Birlikte Görüntü Teknolojilerinde Yeni Standartlar ve Son Gelişmeler

Videonun, 2022'nin sonunda tüm internet trafiğinin %82'sini oluşturması beklenmektedir. Şaşırtıcı olmayan bir şekilde, Covid-19 salgını sırasında video akışı endüstrisi, tüketimde önemli büyüme oranlarını görmüş ve yenilikleri hızlandırmıştır. Dünya pandemiden çıkmaya devam ederken, bu da video akışı endüstrisini etkileyecek ve maliyetlerin kontrolden çıkmasına neden olmadan sürekli olarak daha iyi izleme deneyimleri talebini karşılamaya çalışan video geliştiricileri için yeni fırsatlar ve zorluklar sunacaktır (TVBEurope, 2022).

2020'de video geliştiricileri için en büyük zorluk maliyet olarak gösterilmiştir. Yine de, bant genişliği ve depolama maliyetlerini kontrol etmek, video geliştiricileri için zorluklar listesinde üst sıralarda olmaya devam ederken; düşük gecikme, video geliştiricileri için en büyük baş ağrısı olarak listenin başında yer almaktadır. Önemli teknolojik gelişmelere rağmen, canlı yayınlarda düşük gecikme, video akışı endüstrisi için hala bir bilmecedir ve yayının önemli ölçüde gerisindedir. Canlı yayınlardı düşük gecikme sorununu çözmek, kodlama, paketleme ve CDN stratejisine kadar teslimat yolundaki birkaç noktanın incelenmesini ve optimize edilmesini gerektirmektedir. Gecikmeyi azaltmaya çalışırken kalite, maliyet ve ölçeklenebilirlik arasında değiş tokuşlar vardır, bu nedenle her hizmetin izleyicileri ve kullanım senaryosu için en fazla değeri sağlayan yaklaşımı bulması gerekmektedir (TVBEurope, 2022).

Yeni video kodek bileşenleri, yeni deneyimlere yol açarak ve verimlilikler yaratarak önümüzdeki televizyon çağı vizyonunun önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. OTT video trafiğindeki olağanüstü büyüme, yeni video kodek çözümlerinin belki de en büyük itici gücü olsa da, yeni kodek bileşenleri, 8K gibi yayın ve geniş bant için yeni gelişmiş video deneyimlerinin önemli sağlayıcıları olabilmekte ve karasal ağlarda 4K UHD'nin benimsenmesini hızlandırabileceği öngörülmektedir (Power, 2021, s.8).

Kodek bileşenlerinin başarısının büyük ölçüde sıkıştırma, uygulamanın karmaşıklığı ve ticari özelliklerden etkilendiği belirlenmiştir. 2020 yılı AV1, AVS3, MPEG-5 EVC, MPEG-I VVC ve MPEG LCEVC gibi birçok önemli kilometre taşına ulaşan video

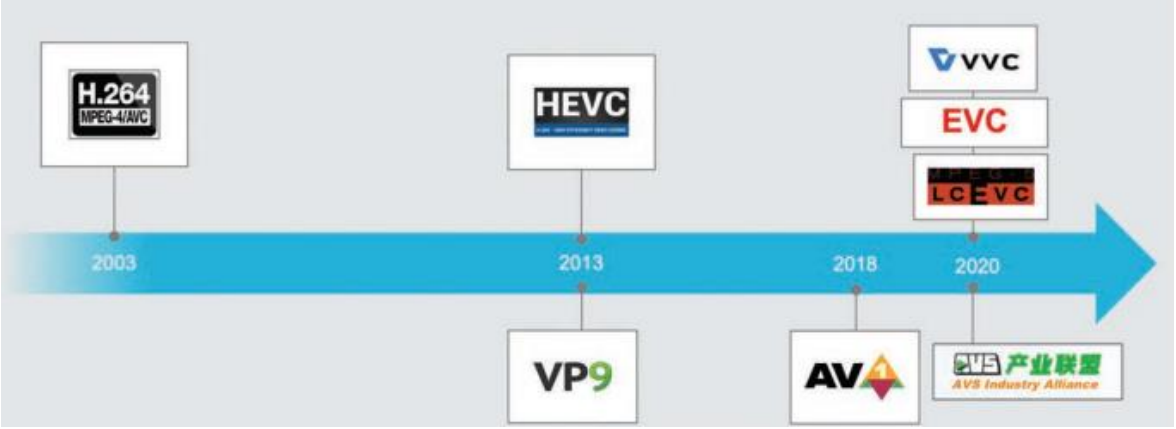
kodek bileşenleri için önemli bir yıldır. Daha fazla verimlilik sağlanması için 2020'nin ikinci yarısında yeni bir MPEG organizasyonu başlatılmıştır. Medya ve yayın endüstrileri için dikkat çekici olan gelişmiş standartlar yayınlanmıştır. 30 yılı aşkın süredir MPEG komitesi video ve grafik verileri için başarılı standartların yanı sıra farklı uygulamalar için iletim protokolleri ve dosya formatları yayınlamaktadır. Örnekler, dijital televizyon için MPEG-2, AVC ve HEVC video kodeklerini kapsamaktadır. Son birkaç yılda MPEG, daha sürükleyici deneyimler sağlamak için genişletilmiş gerçeklik (XR) alanında yeni kullanım örnekleri sağlayan bir dizi standart üzerinde çalışmaktadır (Curcio, 2022, s.17).

2020'nin ikinci yarısında başlatılan yeni bir organizasyonla MPEG, Covid-19 pandemisinin zorluklarına rağmen, komite medya endüstrisine yeni standartlar getirmede mükemmel sonuçlar elde etmiştir. Yeni organizasyonun kuruluşundan bu yana, yeni bir dizi standart yayınlanmıştır. En dikkate değer olanı, önceki HEVC ile karşılaştırıldığında, belirli bir video kalitesinde iletim için gereken bit miktarını yarıya indiren VVC olmuştur. Ayrıca, yeni medya ve XR için yeni kullanım senaryoları sağlanmıştır (Curcio, 2022, s.17). Mevcut teknoloji, 8K gibi bazı kısa vadeli fırsatları karşılamak için yeterli olsa da, 2023'ten itibaren daha uzun vadede yeni kodeklere ihtiyaç duyulacağı konusunda genel bir fikir birliği vardır (Outters & Power, 2021, s. 8).

Uluslararası Standartlar Direktörü ve MPEG Teknik Gereksinimler Çalışma Grubunun Düzenleyicisi Igor Curcio‘nun açıklamasına göre yayınlanan diğer önemli standartlar şunlardır: Temel Video Kodlaması (EVC), Düşük Karmaşıklı Arttırılmış Video Kodlaması (LCEVC), 360° video akışı için Çok Yönlü Medya Formatı (OMAF) içeren yeni bir medya standartları paketi; gerçek dünyadan hacimsel görsel verileri yakalamak için Video Tabanlı Nokta Bulutu Sıkıştırma (V-PCC) ve Geometri Tabanlı Nokta Bulutu Sıkıştırma (G-PCC); 6 Derecelik Özgürlük (6DoF) deneyimini etkinleştirmek için MPEG Kapsamlı Video; ve multimedya uygulamaları için Sinir Ağı Sıkıştırma (Curcio, 2022, s.17).

Şekil 4.3

Video Kodeklerinin Zaman Çizelgesi. Why Specify New Video Codecs in DVB? Outters & Power, 2021, s.8



MPEG ayrıca yeni nesil medya teknolojileri ve standartları üzerinde çalışmaktadır ve önümüzdeki 1-3 yıl içinde yoğun bir yol haritasına sahiptir. Liste, hacimsel görsel verileri yakalamak için dinamik bir ağ sıkıştırma şeması, haptik sinyalleri[7] için yeni bir kodlayıcı, genomik verilerin[8] daha iyi sıkıştırılması için yeni bir kodlayıcı ve makine işlemeye yönelik yeni video kodek bileşenleri içermektedir (Curcio, 2022, s.17).

DVB Projesi Başkanı Peter MacAvock ise gelişmiş 4K ve 8K hizmetlerinin önünü açmak için yeni nesil video kodek bileşenleri için ticari gereksinimlerin onaylandığını açıklamıştır. Aday kodek bileşenlerinin ticari gerekliliklerle teknik uyumluluğunu araştırmak ve taslak özellikleri geliştirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Başlangıçta eklenmeye aday olarak tanımlanan yeni üç aday kodlayıcı AV1, AVS3 ve VVC olarak kabul edilmiştir. Maksimum esneklik için DVB, HEVC kodek bileşeninin mevcut profilini 8K uygulamalarına da genişletecektir. DVB aynı zamanda yeni nesil video codec bileşenlerinin nasıl kullanılacağını belirleyerek, 8K gibi yeni video deneyimlerinin yanı sıra gelişmiş erişilebilirlik ve kişiselleştirme seçeneklerini etkinleştirmeyi hedeflemektedir (DVB, 2022).

8K video desteği, 7680x4320 piksele kadar çözünürlükle tanımlanan temel gereksinimlerden biridir. HDR ve HFR da desteklenecektir. 4K video dağıtım modellerini

[7] Haptik, dokunsal sinyaller anlamına gelir. Kullanıcıya kuvvetler, titreşimler veya hareketler uygulayarak bir iletişim sırasında ayrıntılı bir görsel yorumlama olanağı sağlarlar.
[8] Genomik, verilerin DNA'sı anlamına gelir. Büyük depolama gerektiren bu veriler analiz için toplanır, saklanır ve işlenir.

iyileştirmek için ise yeni kodek bileşenlerinin 4K yayın uygulamalarında mevcut HEVC kodek bileşenine kıyasla en az %27 ve geniş bant uygulamalarında 4K için en az %30 veri hızı tasarrufu sağlaması gerekmektedir. Ayrıca, yeni kodek bileşenlerinin daha düşük çözünürlükler için sıkıştırma verimliliğini artırabilmesi gerekmektedir (DVB, 2022).

5G hizmetlerindeki kodekler değerlendirildiğinde ise özellikle H.264/AVC ve H.265/HEVC olmak üzere mevcut 3GPP video kodeklerini karakterize ederek uygulama yapılacağı düşünülmüştür (DVB, 2021).

4.3. Yeni Nesil Ağlar ile Sağlanabilen Teknolojiler

5G'nin devasa ağ kapasitesinin, hücresel ağlar üzerinden mobil video tüketimi gibi tüketici faaliyetleri için temel kısıtlamayı ortadan kaldırarak, mobil veri maliyetini düşürmeye devam etmesi beklenmektedir. 5G üzerinden dağıtımla önemli ölçüde iyileştirilen veya 5G ağları tarafından etkinleştirilen görüntü teknolojilerinin çeşitli kullanım durumları vardır (Ballhaus & Chow, 2020).

4.3.1. Sanal Gerçeklik (VR)

Son yıllarda sanal gerçeklik ve ilgili teknolojiler toplumda büyük ilgi görmüştür. İlk VR başlığı ise 1960'larda mucit Morton Heilig tarafından patentlenmiştir (Brockwell, 2016). Tanım olarak, sanal gerçeklik esas olarak görsel ve işitselliği birleştirir ve daha sonra kullanıcıların onları içine çekebilmelerini sağlamak için belirli sahneleri simüle eder. Sanal gerçeklik teknolojisinin oyunlarda, etkileşimlerde vb. artan kullanımı ile kullanıcılar sanal gerçeklikten kazanılan deneyim için daha yüksek gereksinimler ortaya koymuşlardır (Shoewu vd., 2022, s. 3).

Alternatif olarak bilgisayar simülasyonlu ortamlar olarak bilinen bilgisayar tarafından oluşturulan görüntüler ve içerik, duyular yoluyla gerçek bir varlığı simüle etmeyi amaçlamaktadır. Sonuç olarak, VR, kullanıcının gerçek dünya ortamını, kullanıcının gerçek olarak algıladığı ve gerçek zamanlı olarak etkileşime girebileceği tamamen bilgisayar tarafından oluşturulan bir görüntüyle değiştiren tamamen kapalı bir ortamdır.

Son yıllarda VR teknolojisinde gelişimsel bir sıçrama görülmüştür. Bunun nedeni, yüksek çözünürlüklü ekranların, hassas lenslerin üretiminde kaydedilen önemli ilerlemeler

ve hesaplama gücündeki önemli artıştır. Hepsi bir araya getirildiğinde, pürüzsüz ve neredeyse tamamen gerçekçi hareketle çok yüksek kare hızlarında son derece ayrıntılı görüntülerin oluşturulmasına izin verilmektedir. 5G teknolojisinin desteğiyle, kullanıcıların sanal ve gerçek dünya arasındaki etkileşim deneyimi büyük ölçüde geliştirilecektir (Saunders, 2021, s.15).

Tokyo 2020 Olimpiyatları için teknoloji şirketi Intel tarafından korona virüs kısıtlamaları nedeniyle Tokyo'ya seyahat edemeyen hayranların çok çeşitli spor ve etkinliklere katılmalarını sağlamak amacıyla, VR ve diğer sürükleyici deneyimler planlanmıştır. Açılış ve kapanış törenleri, atletizm, jimnastik, boks ve plaj voleybolu gibi deneyimler 360º video gibi nesne tabanlı medyaya dayanmıştır (IOC, 2019).

4.3.2. Arttırılmış Gerçeklik (AR)

Artırılmış gerçeklik (AR), fiziksel ve dijital dünyayı birleştiren bir başka görsel biçimdir. Bunu başarmak için AR, kullanıcının görüşünün konumunu algılamak için karmaşık algoritmalar ve sensörler uygular ve ardından 3D grafikleri/nesneleri görünümün üzerine bindirir. Etkin bir şekilde veriler ve görüntüler fiziksel dünyanın üzerine bindirilir ve bu da gerçeklik deneyiminin değerinde potansiyel bir artışa yol açmaktadır. VR, yüksek düzeyde sürükleyici deneyimler sağlarken, AR kullanıcının bilgiye gelişmiş erişim ve görüş alanı içindeki sanal nesnelerle etkileşim kurma yeteneği ile fiziksel dünyayla etkileşime girmesini sağlamaktadır (Saunders, 2021, s.15).

Mobil cihaz yeteneklerinde geliştirilen artırılmış gerçeklik, bir kişinin konumuna göre uyarlanmış ve onlar tarafından görülen gerçek dünyanın görüntüsünü güçlendiren, bağlamsal olarak bilinçli içerik sağlama fırsatı sunar. Örneğin, canlı bir spor maçı sahnesi üzerinde gezinen metin ve grafik bilgileri sağlamak için kullanılabilmektedir. Aynı zamanda bu kullanımı BBC'nin Sherlock Holmes dizisindeki düşüncelerin tasvirine benzetebiliriz. Bu şekilde televizyon izleyicisine zengin geliştirmeler sunulmuş olur (Saunders, 2021, s. 54).

Genel olarak, görüntüleme teknolojisi yüksek yenileme hızları, kare hızları ve çözünürlük gerektirir ve bunların tümü, sürükleyici bir deneyim elde etmek için talep oluşturmaktadır. Bununla birlikte, insan algısı, görüşte doğru ve pürüzsüz hareketler gerektirdiğinden, gecikme, sürükleyici bir deneyim elde etmede önemli bir rol

oynamaktadır. Büyük miktarda gecikme, ayrı bir sürükleyici deneyime yol açabilir, bu noktada da mobil ağların önemi devreye girmektedir (Saunders, 2021, s.15).

AR dünyasında 5G mobil ağının kullanımına bir örnek, bir spor stadyumundaki uç kurulumunun bir parçası olarak yerelleştirilmiş altyapıdır. 5G'nin getirdiği yüksek bant genişliği ve düşük gecikme süresi ile sporseverler, tamamlanan paslar veya atılan goller gibi gerçek zamanlı oyuncu istatistiklerine izin veren AR yetenekleriyle farklı canlı kamera açılarını doğrudan görüntülemek için mobil cihazlarını kullanabileceklerdir (Priestley, 2022).

Azaltılmış gecikme, etkinliğin nerede izlendiğine bakılmaksızın, evdeki bir akış hizmetinde veya stadyumdaki kişisel bir cihazda, kullanıcıların daha zengin bir deneyimden yararlanabileceği anlamına gelmektedir. İçerik, sosyal medya, perakende ve toplulukla ilişkilendirilebilir, etkileşim ve yanıt verebilirlik sağlar.

Mobil ağlarla uygulaması örneğinde BBC, Aralık 2018'de 5G Akıllı Turizm Projesi kapsamında tarihi Roma Hamamları'nda AR uygulamasının ilk halka açık denemesini başarıyla tamamlamıştır. Yüksek kaliteli 360º video, 60 GHz ağın kullanımıyla projenin ağı üzerinden yayınlanmıştır. Proje başlangıcında, AR uygulamasının en son sürümü 20 adet Samsung S8 telefona yüklenmiştir. Aylarca süren testlerden sonra, 3D modellenmiş bakış açısıyla eşleşen gerçek konumda duran tarihi rekonstrüksiyonları görmek mümkün olmuştur (Thomas vd., 2019).

Şekil 4.4

Tarihi Roma Hamamları'nda 5G kullanımı ile AR uygulaması.5G Smart Tourism Trial at the Roman Baths. Graham vd., 2019



Projede Roma Hamamlarındaki el cihazlarına 10 ms'den daha az gecikmelerle 600 Mb/sn'yi aşan aktarım hızları sunulmuştur. Yeni 60 GHz mmWave ağ teknolojisi canlı bir gerçek dünya ortamında doğrulanmıştır. Canlı deneme, 60 GHz ağının sunabildiği büyük miktarda yüksek bant genişliğine sahip video trafiği oluşturmuştur ve ağ üzerindeki gecikme, mevcut 4G ve LTE'den farklı olarak önemli bir 5G performans göstergesi olan 1 ms'nin altında tutulmuştur (Thomas vd., 2019).

Ayrıntılı ağ performansı ölçümleri gerçekleştirmenin yanı sıra, projenin altyapısını kullanmakla Roma Hamamlarının normal ziyaretçi Wi-Fi ağını ticari bir bulut sağlayıcısı tarafından barındırılan verilerle kullanmak arasında basit bir karşılaştırma yapılmıştır. Proje ağını kullanırken videonun oynatılmaya başlaması yaklaşık 1 saniyeden kısa sürmüş olup mevcut altyapıyı kullanırken 30 saniyeden fazla süre ölçülmüştür. Bu da 5G'nin sadece geleneksel ağlar üzerindeki faydalarının bir göstergesi değil, mevcut altyapının kolayca sunabileceğinin çok ötesinde olduğunu göstermektedir (Thomas vd., 2019).

Nihai sürükleyici video deneyimi, derinlik, doğru ve pürüzsüz görüntü hareketi dahil olmak üzere kapsamlı ayrıntılara ve uzamsal duyuma sahip yüksek kaliteli bir görüntüden meydana gelmektedir. VR/AR sağlanırken gecikme önemlidir. Büyük gecikmeler, VR/AR deneyimini bozabilir. Bit hızı zaman, boşluk, renklilik ve derinlik hissi olarak görüntü örnekleme hızı ile belirlenebilir.

Bir prodüksiyon ortamında 4K video kullanıldığında sıkıştırılmamış video için 12 Gbps[9] bit hızı gerekmektedir. Bugün, video içeriği, yayın ve geniş bant ağlarının kapasiteleriyle tutarlı olarak, bit hızını daha yönetilebilir seviyelere indiren sıkıştırmada yenilikler geliştirilmektedir. Örneğin, headset tabanlı görselleştirme teknolojisi, videoyu başlığın gösterdiği yönden seçerek bit hızını azaltmaktadır (Saunders, 2021, s.16).

Tablo 5'te, ağ tabanlı/bulut tabanlı dağıtım için farklı çözünürlükler ve kare hızları ile gerekli maksimum bit hızının daha pratik tahminleri bulunmaktadır. Aynı zamanda farklı VR çözünürlükleri ve bunların bir televizyon ekranındaki eşdeğerleri için gerekli verimi ve gecikmeyi göstermektedir (Mangiante, 2017).

[9]Yüksek dinamik aralığa sahip 3840×2160 piksel 100/120 fps, 4K için son zamanlarda en yaygın hedeftir ve 4:4:2 renk örnekleme ile yaklaşık 12Gbps kullanılır. 8K'nın ise profesyonel ortamlarda hakim olması ileriki dönemde beklenmektedir.

Tablo 5

VR/AR Teknolojileri İçin Aktarım Hızı ve Gecikme Gereksinimleri Tahmini

VR	VR Çözünürlüğü	Eşdeğer Çözünürlük	Minimum Verim	Maksimum Streaming Gecikmesi	Maksimum İnteraktif Gecikme
Eski VR	1Kx1K 2D (30fps) 8bit 2K	240p	25 Mbps	40 ms	10 ms
İlk VR	2Kx2K 2D (30fps) 8bit 4K	SD	100 Mbps	30 ms	10 ms
İleri VR	4Kx4K 2D (60fps) 10bit 8K	HD	400 Mbps	20 ms	10 ms
Gelişmiş VR	8Kx8K 3D (120fps) 12bit 16K	4K	1 Gbps (normal) 2.35 Gbps (interaktif)	10 ms	10 ms

VR is on the Edge: How to Deliver 360° Videos in Mobile Networks. Mangiante, 2017

Tablo 5, iyi kalitede VR sağlamanın önemli bir yönünü göstermektedir: hem yüksek verim hem de düşük gecikme ihtiyacı. Neredeyse tüm VR seçenekleri için gecikme gereksinimini mevcut ağlarla karşılamak zordur. Örneğin, en temel akışlı VR için, son kullanıcılara aynı anda tutarlı bir minimum 25 Mb/sn aktarım hızı sağlamak zordur. Tüm kullanıcılar için aynı anda maksimum 10 ms gecikmeyle yayınlamak daha da zordur (Mangiante, 2017).

Yardımcı teknolojiler, aynı zamanda zor veya imkansız olabilecek işlevleri yerine getirmeleri için engelli, kısıtlı hareket kabiliyeti veya diğer bozukluklara sahip bireyleri destekleyen ve onlara yardımcı olan özel ürünler veya sistemlerdir. Son yıllarda VR'nin demans hastalarına yardım ettiğine dair raporlar vardır (BBC, 2019). Benzer şekilde raporlar, VR'nin daha bağımsız yaşamalarını sağlayarak geri dönüşü olmayan görme kaybı yaşayan yüzlerce insanın yaşamları üzerindeki dönüştürücü etkisini tanımlamıştır. Örneğin, AR/VR çözümlerinin, insan vizyonunu simüle ederek hastaların kalan görüşünü radikal olarak iyileştirdiği söylenmektedir. Bunu, gelen görüntüleri işlemek için bir kamera

kullanarak ve ardından artırılmış görüntüyü hastanın retinasının çalışan kısmına yansıtarak yapmaktadırlar (Fearn, 2020).

5G'nin kullanıma sunulması dahil olmak üzere altyapıdaki ilerlemelerin, AR ve VR'nin uzun zamandır müjdelenen potansiyellerini gerçekleştirmeye başlamasına yardımcı olacağı değerlendirilmektedir (Ballhas & Chow, 2020, s.16).

Sanal ve Arttırılmış Gerçeklik Görüntü Teknolojilerinin Kullanım Alanları

Sürükleyici sanal ortam teknolojisindeki ilerlemelerin bir sonucu olarak ya da bu teknolojinin artan bir rol oynamasının beklendiği yerlerde, daha fazla gelişme görmesi muhtemel alanların kapsamlı olmayan bir listesi bulunmaktadır.

Eğitim:

Eğitimciler, öğrenme sürecini kolaylaştıracak ve öğrencinin ilgi alanlarına yaklaştıracak araçlara artan ihtiyaç nedeniyle, eğitimde kapsamlı görüntü teknolojileri için parlak bir gelecek öngörmektedir.

Sanal gerçekliğin öğretim sürecinin etkinliğini artıran, öğrenciler için farklılaştırılmış ve kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri sağlamanın etkili bir yolu olduğu konusunda fikir birliği vardır. Ortalama olarak, normal bir öğrenci duyduklarının %30'unu ve gördüklerinin %20'sini hatırlayabilse de istatistikler, öğrencilerin bu teknolojiler kullanılarak öğretilirse materyalin %90'ını hatırladıklarını göstermektedir (Vlasova, 2020).

Kültür:

Sanal gerçeklik teknolojileri, müzeler, hayvanat bahçeleri ve safari parkları için ziyaretçilere sürükleyici ve etkileşimli bir deneyim sunma fırsatı sunmaktadır. Ayrıca hayvan hakları ve çevre konusundaki endişelerin, hayvanat bahçesi ve safari parkı turları alanında bu uygulamaların yoğunlaştırılmasına yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Davidge, 2018).

Spor ve Eğlence:

Görüntü teknolojilerindeki ilerlemeler, spor, konser ve tiyatro gibi alanlardan keyif almanın yeni yollarının önünü açması beklenmektedir. Pek çok spor kanalı, karşılaşma ile ilgili gerçek zamanlı olarak yayın ve tek tek analizlerinin bir parçası olarak arttırılmış gerçekliği dahil ederek bu teknolojiyi zaten denemektedir. Taraftarların stadyum içi

deneyiminin de daha kişisel hale gelmesinin ve devre arasını zenginleştiren görselleştirmelerin sağlanması beklenmektedir (Roettgers, 2019).

Perakende:

Tüketicilerin alışveriş yapma şekli de önemli ölçüde değişmektedir. Bu uygulamaların, satın alma öncesinde, sırasında ve sonrasında ürünler ve perakendeciler ile tüketici etkileşimlerini geliştirmesi beklenmektedir. Böylece alışveriş yapanların ürünleri keşfetme ve test etme konusundaki fiziksel deneyimlerini çoğaltmalarına izin vermenin yanı sıra, sanal ve kişiselleştirilmiş bir satış ortağı işlevi oluşabilmektedir (McGiffin & Ortiz, 2020).

4.3.3. Yapay Zeka (AI) Uygulamaları

Artan sayıda tüketici, oturma odalarında ve cep telefonlarında dijital asistanlarla etkileşime girdiğinden, yapay zeka evde ve hareket halindeyken de giderek daha fazla öne çıkmaktadır. Bu durumda tüketiciler, kolaylık ve kişiselleştirme açısından yapay zekanın sağladığı faydaları takdir etmektedir (Saunders, 2021, s.52).

Araştırmalar, yapay zeka sistemleri tarafından video ve ses içeriğinin kendisinden çıkarılan meta verilerin, işlendiğinde insanları, nesneleri ve konumlarını tanımlayan veriler üreterek robotik kameraları otomatik olarak kontrol etmek veya UHD görüntü çerçevesinin içinden görüntünün bir bölümünü seçmek için kullanılabileceğini göstermektedir. Bu yöntem küçük ölçekli stand-up komedileri ve panel gösterileri gibi bazı etkinlikler için kullanılabilmektedir. Komut dosyasını ve diğer üretim verilerini de içerebilen bu tür meta veriler, bir ağa veya hatta bireysel izleyicilerin gereksinimlerine uyacak şekilde farklı uzunluklar (çalışma süreleri) üretmek üzere içeriği otomatik olarak kırpmak için yapay zeka güdümlü sistemler tarafından da kullanılabilmektedir (Saunders, 2021, s.52).

Futbol maçları ve diğer spor etkinlikleri, çıktısı topun ve her bir oyuncunun pozisyonlarını tanımlayan bir meta veri akışı sağlamak üzere işlenen özel geniş açılı sabit kameralar tarafından giderek daha fazla izlenmektedir. Bu tür veri akışları, robotik kameraları kontrol etmek için yapay zeka tabanlı araçlarla birlikte görüntü karıştırma için kullanılabilir. Grafikler ve diğer nesneler, zengin deneyimlerin yaratılmasına izin vererek izleyicilere ayrı ayrı sunulabilir, böylece çok büyük bir UHD ekrana sahip bir izleyici, küçük

bir ekranda izleyen bir izleyiciden nispeten daha küçük grafiklerle geniş bir görüş açısı seçebilmektedir (Saunders, 2021, s.52).

Fox Sports, 2018 FIFA Dünya Kupasında tüketicilere konu ile ilgili içerik sunmak ve video prodüksiyonu ile düzenlemeye verimlilik katmak için medya nesnelerinin, insanların, kelimelerin, kavramların, duygusal vurguların ve karakter kişiliklerinin yapay zeka analizi yoluyla yayın süreçlerini güçlendirme amacıyla IBM Watson Media ile birlikte çalışmıştır. Bu araç daha önce IBM tarafından The Masters, Wimbledon ve US Open spor turnuvalarında da yayıncılarla işbirliği içinde kullanılmıştır (OFCOM, 2021, s. 25).

Şekil 4.5

Fox Sports İnteraktif Medya Teknolojisi. IBM Watson, 2018



Yakın zamanda gerçekleşen bir başka örnekte Alman Bundesliga futbol ligi, etkileşimli akışı yürütmek için Amazon Web Sistemleri AWS'den bir dizi medya ve AI hizmetinden yararlanmıştır. İzleyicinin ekranını otomatik olarak özel video uyarıları, istatistikler ve grafiklerle doldurarak izleyici deneyimi kişiselleştirilmiştir. Etkileşimli Akış, resimlerden ve sonuçlardan gerçekleri ve oluşumları eşleştirmeye kadar değişen bilgileri içeren altıdan fazla istatistiksel pencere öğesi içermektedir. İzleyiciler ayrıca önemli noktalara, ilerleme çubuğuna ve çoklu oyun moduna erişebilmektedir. DFL Görsel-İşitsel

Haklar Başkan Yardımcısı Steffen Merkel konuyla ilgili: "Etkileşimli Akış, küçük ekran zorluklarını çözerek, bir izleyicinin bir maçı takip etmesi için ihtiyacı olan tüm verileri yakalamamızı ve tek bir arayüzde canlı video kapsamının yanı sıra kolayca derlenebilecek bir şekilde düzenlememizi sağlıyor." demiştir (Priestley, 2022).

Amazon Web Servisleri (AWS), her maç yayını sırasında, etkileşimli akışın temel mimarisinin, verileri organize eden bir algoritma kullanarak gol veya asist gibi gerçek zamanlı olayları otomatik olarak algıladığını ve bunu, ekranın alt kısmındaki zaman çizelgesinde küçük simgeler olarak izleyiciler için erişilebilir hale getirdiğini belirtmiştir. Bu yapay zeka sistemleri, Şekil 4.6'da bir örneği görüldüğü gibi tıklanabilir canlı grafikler, mevcut görünümün dışındaki oyunlardan bile oyuncular ve takımlar, topa sahip olma ve diğer taktik ayrıntılar hakkında istatistiksel bilgileri ortaya çıkarmaktadır. (Priestley, 2022).

Şekil 4.6

Alman Bundesliga AI İnteraktif Yayını. Germany's Bundesliga Scores with Personalised Interactive Feed Driven by AWS. Priestley, 2022



Cognitive Highlights markalı bulut tabanlı video AI hizmeti, video düzenleyicilerin heyecan verici maç anlarını otomatik olarak tanımlayıp sıralayarak öne çıkanları daha hızlı paketlemesine ve dağıtmasına olanak tanıyan bir video meta veri zenginleştirme hizmeti sağlamaktadır. Microsoft, Google, AWS ve Huawei de benzer bulut tabanlı hizmetler sunmaktadır (OFCOM, 2021, s. 26).

Mobil ağlar ile uygulamalarına bakarsak 5G ağları küresel olarak yaygınlaştıkça teknolojinin, düşük gecikme süresi ve ultra hızlı veri iletimi, verilerin yenilikçi ve işbirlikçi

kullanımlarına dayalı daha fazla karma iş modeli için fırsatlar yaratacağı bilinmektedir. 5G'nin ve bu faydaları sağlayan veri bulmacasının önemli parçaları arasında, bulut oyunları ve her zamankinden daha ayrıntılı AI destekli toplu kişiselleştirme gibi hizmetleri desteklemek için gereken muazzam işlem gücünü ve evrensel erişilebilirliği sağlayacak bulut ve uç bilgi işlem yer almaktadır. Veri ve bant genişliği talebi arttıkça, 5G'ye küresel geçiş, daha akıllı ve uyarlanabilir ağları mümkün kılacaktır. Operatörler, bunları oluşturmak için trafiği, kapasiteyi ve önbelleğe almayı yönetmek ve uç bilgi işlemi yazılım tanımlı ağ oluşturma ve ağ işlevleri sanallaştırma gibi kavramlarla birleştirmek için ağlarında yapay zekayı uygulayacaktır (Ballhaus & Chow, 2020, s. 15).

4.3.4. Karma Gerçeklik (MR)

MR, hem dijital hem de gerçek dünya nesnelerini birleştirir ve gerçek zamanlı etkileşimi sağlar. Karma gerçeklikte, yeni nesil algılama ve görüntüleme teknolojilerini kullanarak hem fiziksel hem de sanal öğeler ve ortamlarla etkileşime girer ve kullanıcı bunları yönetir. Karma gerçeklik, insanların ellerini kullanarak sanal bir ortamla etkileşime girerken bile, kulaklıklarını hiç çıkarmadan etrafı görmeye ve kullanıcıların kendisini bu dünyaya kaptırmasına olanak tanımaktadır. Bir ayağın veya elin gerçek dünyada, diğerinin hayali bir yerde olması, gerçek ve hayali arasındaki temel kavramları parçalayarak, günümüzde oyun oynama ve çalışma şeklini değiştirebilecek bir deneyim sunma yeteneği sağlamaktadır. Dünya çapındaki şirketler de günümüzde sorunları çözmek, işletmeleri geliştirmek ve girişimleri desteklemek için MR'ı kullanmanın farklı yollarını keşfetmeye çalışmaktadırlar (Intel, 2021).

.

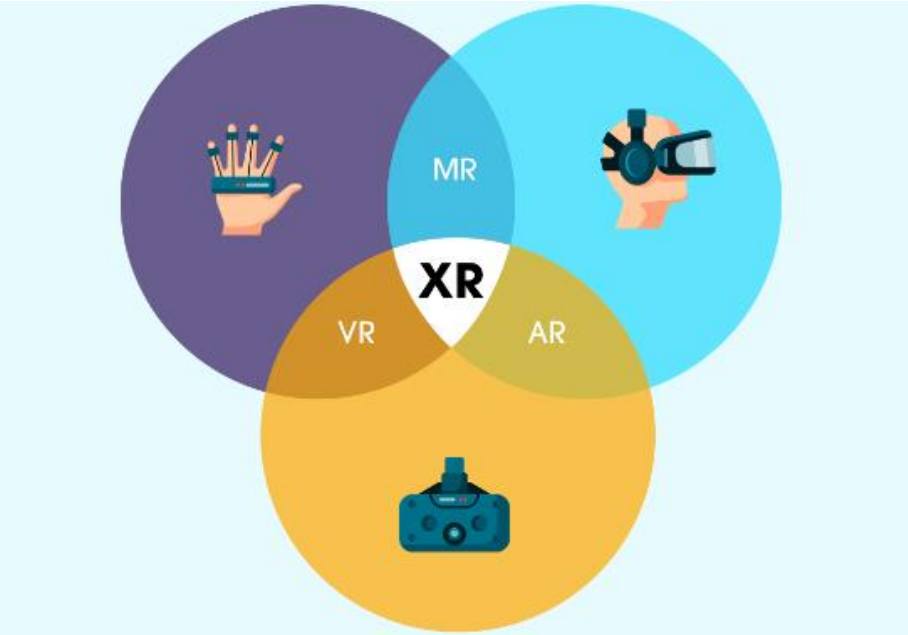
4.3.5. Genişletilmiş Gerçeklik (XR)

Genişletilmiş gerçeklik birkaç yıldır geliştirilmekte olan iddialı konulardan biri olmuştur. Büyük ölçekli akıllı telefonların daha küçük giyilebilir cihazlarla değiştirilmesi, tüketici, endüstriyel ve tıbbi alanlarda çok sayıda yeni kullanım senaryosunun yanı sıra Metaverse devrimi için bir temel oluşturmaktadır. XR aynı zamanda mesafeli ve hibrit işyerleri, teletıp ve çevrimiçi oyunlara yönelik modern küresel eğilimleri de

kolaylaştırmaktadır. XR, gerçek ve sanal ortamların tüm yelpazesini kapsamaktadır. Literatürde XR; AR, MR ve VR gibi mevcut teknolojileri geliştiren bir terim olarak tanımlanımakta olup kullanıcılar için üstün bir teknolojik deneyim oluşturmak üzere Şekil 4.7'de gösterildiği gibi bu üç teknolojinin özelliklerini birleştirmektedir.

Şekil 4.7

XR Bileşenleri. Extended Reality (XR): A Sneak Peek into an Alternate Reality. Shaikh, 2020



Yüksek pazar potansiyelinin ardından XR, 5G ve sonraki 6G sistemlerinde kaçınılmaz olarak önemli bir rol oynayacaktır (Hu, 2020). XR'nin başarılı bir şekilde benimsenmesi, temeldeki kablosuz sistemlerden destek gerektirmektedir. 5G'nin temel XR desteği sağlayabildiği kanıtlanmış olsa da, hücresel ağlarda XR cihazlarının ve hizmetlerinin büyük çapta benimsenmesi, yeni araştırma ve mühendislik zorluklarını beraberinde getirmektedir. XR performansını daha da artırmak için 5G, hem XR'a özgü etkinleştiriciler hem de XR performansını iyileştirmeye yardımcı olacak eMBB, URLLC ve gibi teknolojiler dahil olmak üzere çok sayıda heterojen geliştirme sunacaktır (Petrov vd., 2022, s. 1).

4.3.6. HBBTV

Hibrit yayın genişbant televizyon olarak adlandırılan HbbTV, televizyon yayını ve genişbant internet kombinasyonu ile eğlence, haber, bilgi gibi içerik servislerini tüketiciye sunan bir teknolojidir. Yani dijital televizyon yayınları ve internet içeriğini televizyon ekranında bir araya getirmektedir. HbbTV sistemi, bir DVB bağlantısı (DVB-T, DVB-S ve ya DVB-C) ve bir internet bağlantısından oluşmaktadır. Bağlantıları içeren hibrit terminal, televizyon içerisinde olabileceği gibi set üstü kutuda da olabilmektedir (Merkel, 2022, s. 13).

Klaus Merkel'e göre (2022) HbbTV kesinlikle erişilebilirlik hizmetleri sunan tek teknoloji değildir, ancak yayıncıların erişilebilirlik gereksinimlerini karşılayanlar da dahil olmak üzere çok çeşitli hizmetleri uygulamaları için olağanüstü zengin bir araç kutusu sağlamaktadır.

Yakın tarihli bir EBU raporu, duyusal farklılıkları olanlar için erişilebilirlik hizmetleri sağlamak için HbbTV'nin nasıl kullanılabileceğini incelemektedir. Şekil 4.7'de görüldüğü üzere sağırlar ve işitme güçlüğü çekenler için altyazı, işaret dili tercümesi, sesli betimleme ve erişilebilir sesli deneyimler olmak üzere dört önemli özelliğe odaklanır.

Şekil 4.8

HbbTV Uygulamasında, Orijinal Programı İşaret Dili Tercümanıyla Birleştiren Bir Video Örneği. HbbTV – A Major Tool for Accessibility. Merkel, 2022



4.3.7. DVB-HB

IP ağlarının yaygınlaşması, ses ve video hizmetlerinin geniş ekran bağlantılı televizyonlardan tabletler veya akıllı telefonlar gibi kişisel cihazlara kadar ağa bağlı herhangi bir cihazda tüketilmesine izin verdiği için kullanıcı alışkanlıkları hızla değişmektedir.

Geniş bant ağlar, görsel-işitsel hizmetlerin hem canlı hem de isteğe bağlı olarak tüketilmesini sağlamakla birlikte, büyük kitleleri çeken ve IP ağlarının dağıtım kapasitelerini potansiyel olarak strese sokan trafiklere neden olabilirler. Bu gibi durumlarda, kullanıcılar videonun donması veya görüntü kalitesinde düşüş yaşayabilirken, yayıncı açısından geniş bant dağıtımı, aynı anda çok sayıda kullanıcıya hizmet vermek söz konusu olduğunda, geleneksel yayın ağları kadar uygun maliyetli değildir. Ancak, aynı hizmet televizyon anteninde zaten tam kalitede mevcutsa, evdeyken IP bağlantılı cihazlarda doğrusal bir televizyon hizmeti almak için neden internete bağlanmak gerekir sorusu sorulabilir (Milanesio, 2021, s. 16).

Şubat 2021'de yayınlanan DVB-HB özelliği, ev içi ağ bağlantılı akıllı telefonlar, tabletler, bilgisayarlar, etkinleştirilmiş IP'li televizyon setleri ve set üstü kutular gibi cihazlarda geleneksel DVB yayın hizmetlerinin (yani uydu, karasal veya kablo ağları aracılığıyla) kullanımını sağlar. Bir DVB-HB yerel sunucusunun, aynı LAN'a bağlı (örneğin bir apartman, otel veya kampüste) DVB-HB istemcilerine yayın sinyallerini ve ilgili meta verileri yeniden dağıtabileceği arabirimleri tanımlanır (Milanesio, 2021, s. 16).

Şekil 4.9

DVB-HB Konsepti. DVB-HB: An in-Home Bridge From Broadcast to IP. Milanesio, 2021, 16



Sonuç olarak DVB-HB, kullanıcıların IP cihazlarından herhangi birini, canlı/doğrusal televizyon hizmetlerinin "yayın kalitesinde" kullanmak için, ayrıca geniş bant kapsamının olmadığı veya zayıf olduğu bölgelerde bir televizyon alıcısına dönüştürmelerine olanak tanır. Yayıncılar, bir IP cihazını kullanan kullanıcılarına da gelişmiş QoS ile canlı/doğrusal televizyon hizmetleri sunabilir ve CDN aktarımıyla ilişkili maliyetlerin azalmasından yararlanabilir (Milanesio, 2021, s. 16).

Son olarak, bina içi ağ altyapılarının tasarımcıları (örneğin konaklama, kampüs vb. için) televizyon dağıtımını diğer BT hizmetleriyle daha kolay entegre edebilirken, tüketici elektroniği üreticileri ürünlerine tüm ev eğlencesi ekosistemini kapsayan yeni özellikler eklemeyi düşünebilir (Milanesio, 2021, s. 16).

4.3.8. Metaverse

Neil Stephenson tarafından 1992 tarihli Snow Crash romanında ortaya atılan bir terim olan "metaverse", bilim kurgu literatüründe tekrar eden bir temadır. Günümüzde oldukça tartışılan ve görüntü teknolojilerinin devrim yaratan bir uygulaması olması beklenen Metaverse, insanların AR/VR ve dokunsal teknoloji aracılığıyla erişebileceği gerçek zamanlı, sürükleyici, etkileşimli ve dinamik bir sanal ortamı ifade etmektedir. İnsanlar temelde alternatif bir gerçeklik olarak hareket eden Metaverse'de iş ve eğlence için buluşabilmektedir. Meta veri deposu bir uygulama değil, uygulamaların çalışması için bir etkinleştirici ve bağlamdır. Küresel olarak birleşik veya tümleşik bir alan olması gerekmese de yalnızca bir meta veri deposu vardır. Büyük olasılıkla, internet ve web sitelerini yöneten ilkelere benzer şekilde, küresel açık standartlar kullanılarak birbirine bağlı ve herkes tarafından erişilebilir çok sayıda ayrı alt uzaydan oluşacaktır (Nackaerts, 2022).

Meta veri deposu, geleneksel içerik için sürükleyici bir kullanıcı arabiriminden çok daha fazlasıdır. Alternatif bir gerçeklik olarak kabul edilebilmesi için, IoT cihazlarından gelen multimedya akışlarını ve gerçek zamanlı verileri makinelerin, araçların veya şehirlerin sanal dijital ikizleri, insan avatarları ve yapay zeka tabanlı akıllı aracılarla birleştirmesi gerekir. Ayrıca gerçek dünyadaki makineleri kontrol etmek için bir geri bildirim döngüsüne, gerçek veya sanal sahiplik için ekonomik bir sisteme, lisanslama ve maliyet muhasebesine ve gizliliği koruyan bir iletişim protokolüne ihtiyaç duymaktadır. Meta veri deposu,

dağıtılmış bilgi işlem, veri değişim standartları, taşınabilir kod ve nesne etkileşim protokollerinin küresel olarak benimsenmesi üzerine inşa edilecektir (Nackaerts, 2022).

Günümüzde insanlar, yapımcıların amaçladığı şekilde görüntülenen fiziksel mekanlardaki ekranlarda video izlemektedirler. Meta veri deposu, içeriği sanal bir ekrana yansıtarak bunu taklit edebilir. Kullanıcılar bu içeriği aynı sanal alanda diğer kişilerle birlikte izleyebilmektedir (Nackaerts, 2022).

Tüm bunlara nazaran, teknolojinin kendisi, özellikle kurumsal sistemler içinde benimsenmesinde nispeten yavaş olmuştur. Bunun nedeni, içeriğin geliştirilmesinin daha pahalı olması ve bunun da daha küçük şirketler arasında oldukça büyük bir engel oluşturmasıdır. Aynı zamanda şirketler ve işletmeler söz konusu olduğunda, meta veri tabanı ve VR'yi uygulamak çok daha zordur çünkü eğlence temelinde daha az, protokoller ve verimlilik karmaşası içinde ise daha fazla çalışmayı gerektirir (TVBEurope, 2022).

VR içeriğinin oynatılmasına izin veren yazılım çözümleri, standart videoya kıyasla oldukça sınırlı olduğundan, VR'yi çalıştırabilmek ve bundan para kazanabilmek de daha düşük bir seviyede inanılmaz derecede zordur. Ek olarak, 360º VR içeriğini Youtube dışında oynatma seçeneği kısıtlanmıştır, bu nedenle yeni başlayanların veya startup işletmelerin bir şirket içi VR veya metaverse stratejisini güçlendirmesi neredeyse imkansızdır (TVBEurope, 2022).

Bununla birlikte, yeni başlayanlara ve işletmelere rekabet avantajı sağlayan etkili, çok yönlü bir video ve VR stratejisi oluşturmak imkansız değildir. Meta veri deposu ve VR, iş süreçlerinde çalışabilir, ancak önce oraya nasıl ulaşılacağını anlamak gerekmektedir. Şirketler, video olanakları söz konusu olduğunda bütünsel bir yaklaşıma odaklanmadan önce metaverse mayın tarlasına katılmayı seçerlerse, VR'nin potansiyelinin geleceğini ortaya çıkarmak söz konusu olduğunda dezavantajlı olma olasılıkları vardır (TVBEurope, 2022).

Sonuç olarak, bahsedilen içerik oldukça karmaşıktır ancak doğru yapıldığında yalnızca kurumsal pazarlama stratejilerini güçlendirmekle kalmaz, aynı zamanda gelir açısından da etkili olmaktadır. Ardından, bu konuda uzmanlaşıp kârlı hale geldikten sonra, şirketler meta verinin kendileri için ne anlama geldiğine bakabilirler (TVBEurope, 2022).

Metaverse teknolojisinde yayıncılığın son örneği olarak bu sene İtalya futbol ligi Serie A'da Milan ve Fiorentina arasında oynanan futbol müsabakası Afrika ve Orta Doğu'daki taraftarlar için The Nemesis metaverse'deki Serie A odasında mevcut bulunmuştur. Ligin CEO'su Luigi De Siervo, "Metaverse'de bir futbol maçı yayınlayan ilk kişi olmayı seçtik, çünkü teknolojik yenilik sınırının Serie A gibi modern bir lig için son derece önemli olduğuna inanıyoruz." demiştir (The Metaverse Experience, 2022).

4.4. Değişen Görüntü Teknolojilerine Geçişte Yaşanabilecek Sorunlar ve Çözümler

Yeni teknolojinin tanıtılması, teknolojinin günlük yaşamımıza nasıl uyduğu ve hayatımızı nasıl değiştirdiği hakkında genellikle kritik soruları gündeme getirmektedir. Bu sorular, adaptasyon konusunda negatif bir etkiye neden olabilmektedir. Genel olarak, emniyet, güvenlik ve mahremiyet algıları adaptasyonun önündeki engeller olarak sunulabilmektedir. Hâlâ üstesinden gelinmesi gereken teknik zorlukların yanı sıra, adaptasyon engellerini azaltmak için kullanıcı algılarının ele alınmasına yönelik sürekli bir ihtiyaç olacaktır.

Buna karşılık, iletişimin öneminin artmasıyla birlikte özellikle Covid-19 pandemisi ortaya çıktıkça insanlar çevrimiçi hizmetlere her zamankinden daha fazla güvenmeye başlamıştır. Örneğin, çevrimiçi perakendenin kullanım oranlarında önemli bir ivme gördüğü rapor edilirken, görüntülü arama hizmetlerindeki büyüme iki kattan fazla artmıştır (McKinsey&Company, 2020). Bu durumun, bazı kesimlerin teknolojiye karşı direncini azaltarak yeni teknolojilerin benimsenmesine yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

4.4.1. Video Kalitesiyle İlgili Sorunlar

Akıllı telefonlar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır ve mobil ağ kapasitesinin hızla artması nedeniyle bu tür el cihazlarındaki video trafiği önem kazanmaktadır. Video kablosuz ağ üzerinden taşındığında, içerik dağıtım ağları, hücresel operatörler tarafından emanet edilen modifikasyon nedeniyle ve ayrıca sıkıştırma ile iletim sırasındaki hatalar nedeniyle video akışı kalite düşüşüne maruz kalmaktadır. Yayın esnasında izleyicinin gözünü rahatsız eden görüntüler bozulmaya uğramış kabul edilmektedir. Sıkıştırma oranının büyüklüğünden, kodlama sorunlarından veya video iletimi sırasında oluşabilecek bu hatalar daha çok sayısal yayınlarda gerçekleşmektedir (İnce, 2010, s.83).

4.4.1.1.Dilim Hatası

Yayınlar esnasında görüntüde oluşabilecek dilim hatası sorunu IP paketinin bozulmasıyla gerçekleşebilen bu sorundur. Çözüm aşamasında yeni bir I-frame gelmesiyle düzeltme yapılmaktadır.

Şekil 4.10

Dilim Hatası. IPTV Servisinde Video Kalitesi Kriterleri ve Görüntü Bozukluklarının Giderilmesi. İnce, 2010, s.84



4.4.1.2.Karelenme / Pikselleme

Kendinden sonrakilere referans olabilen I-frame ve P-framelerin kayıpları sonucunda oluşabilecek bu hatalar çok hareketli videolarda daha sık görülmektedir. Dilim hatasında olduğu gibi yeni bir I-frame gelmesiyle sorun ortadan kalkar (İnce, 2010, s.84).

Şekil 4.11

Karelenme / Pikselleme Hatası. IPTV Servisinde Video Kalitesi Kriterleri ve Görüntü Bozukluklarının Giderilmesi. İnce, 2010, s.84



4.4.1.3.Gölgeleme

I-frame kaybı ile ortaya çıkan bu sorunda eski görüntü videoda görülmeye devam etmektedir ve eksik I-frame'i referans alan B-frame ve P-frame çerçevelerine göre yapılan kod çözümü sonucunda görüntünün özellikle hareketli kısımlarında gölge meydana gelmektedir. Aynı şekilde yeni I-frame gelmesiyle sorun ortadan kalkar (İnce, 2010, s.84).

Şekil 4.12

Gölgeleme Hatası. IPTV Servisinde Video Kalitesi Kriterleri ve Görüntü Bozukluklarının Giderilmesi. İnce, 2010, s.85



4.4.1.4.Donma

En sık karşılaşılan problemlerden biri olarak görülen görüntüde donma, ardışık olarak pek çok frame kaybolmasıyla ortaya çıkmaktadır. Ekrandaki videonun bir süre hareket etmemesiyle sonuçlanmaktadır (İnce, 2010, s.85).

4.4.1.5.Bulanıklık

Bulanıklık, sıkıştırma işlemi sırasında yüksek frekans bileşenlerindeki bozulmadan kaynaklanmaktadır. Bant genişliği yetersizliğinden dolayı video düzgün bir şekilde kodlanamaz ve bu nedenle hızlı hareket eden sahneler nedeniyle bulanıklık etkisi ortaya çıkar (Arun Kumar &Chandramathi, 2014, s.776).

QoS

Videonun kullanıcılara ulaştırılması işleminde bütün kriterlerin başarı durumlarını değerlendirmek için literatürde iki kavram tanımlanmıştır. Servis kalitesi anlamına gelen QoS, kullanıcının aldığı hizmet sonucundaki memnuniyet seviyesini belirleyen ve Telekom operatörü tarafından sağlanan bir ölçüttür. Yayınların görüntü kalitesi, renk düzeyleri, kesintisiz olması gibi kriterleri, gerekli altyapı ve platform yatırımlarıyla sağlanmaktadır (Arun Kumar &Chandramathi, 2014, s.772).

QoE

Video sinyali işlemenin çeşitli aşamaları, dijital videonun bozulmasına neden olmaktadır ve bu kapsamda, video kalitesini değerlendirmek için yöntem ve metriklerin gerekliliği son derece kritik hale gelmektedir. Geleneksel QoS, bant genişliği, gecikme, titreşim ve paket kaybı gibi parametreleri göz önünde bulundurarak yalnızca ağ performansına odaklanır. QoS'de insan öznelliği (kullanıcı algısı) dikkate alınmaz ve bu

nedenle, daha çok algılanan kaliteye odaklanan Deneyim Kalitesi (QoE) adlı yeni bir terim tanıtılmıştır (Arun Kumar & Chandramathi, 2014, s.772). QoE, izleyici tarafından algılanan genel kalitedir ve bu nedenle tamamen öznel bir değerlendirmedir. İzleyicinin videonun ne kadar iyi göründüğüne, sesin ne kadar iyi ses çıkardığına, görsel-işitsel içeriğin ne kadar iyi bir şekilde algılandığına veya bir görsel-işitsel hizmetle etkileşimin ne kadar iyi çalıştığına ilişkin algısını temsil eder. İyi bir QoS, video içeriğinin nesnel olarak tatmin edici olduğu anlamına gelir, ancak izleyicinin öznel QoE deneyiminin de olumlu olacağı anlamına gelmez (Pérez, 2022, s.8). UHD medya kullanım durumu için izlenebilen QoS ve QoE parametrelerinin örnekleri olarak şunlar düşünülebilir:

Medya sunucusu tarafında ölçülecek QoS parametreleri:

- Ortalama Bit Hızı, yani kaynak sunucudan istemciye içeriği görüntüleyen video akışı tarafından tüketilen ortalama bant genişliği.
- Gidiş-Dönüş gecikmesi, yani medya istemcisi ile sunucu arasındaki ortalama/dak/maks yayılma süresi.
- Paket/kare kaybı oranı, yani medya istemcisi ile sunucu arasındaki ortalama kayıp oranı.
- Ağ atlamaları, yani istemci ve sunucu arasındaki paketlerin geçtiği atlama sayısı.

QoE tabanlı metrikler:

- Başlangıç Zamanı, yani oynatmaya basıldığından videonun ekranda başlamasına kadar geçen süre.
- Yeniden Arabelleğe Alma Hızı, yani görüntüleme sırasında yeniden arabelleğe alma olayının meydana gelme sayısı. (Carrozzo vd., 2018, s.4).

4.4.2. Video Kalitesinin Sağlanabilmesi

Yeni kameraların çözünürlüğü, günümüzün yüksek tanımlı HD ve standart tanımlı SD çözünürlüğündense önemli ölçüde daha yüksek olan 4K ve 8K'da ultra yüksek tanımlı UHD çözünürlüğe yönelmektedir. Tablo 6'da bu çözünürlükleri ve bit hızlarını (hem sıkıştırılmamış hem de tipik olarak sıkıştırılmış) listelenmektedir. Ultra yüksek çözünürlüklü kameralar, aynı sahnenin aşırı aydınlık ve karanlık öğelerini 'ezilmeden' (beyazlarda veya siyahlarda ayrıntı kaybetmeden) yakalayan yüksek dinamik aralığa sahip görüntüler de çekebilmektedir. Daha önce televizyonda görmenin mümkün olmadığı canlı renkleri ve daha

yüksek kare hızlarını yeniden üreterek hareketin daha net bir şekilde yakalanması sağlanmaktadır (Salmon vd., 2014).

Tablo 6

Video İçeriği İçin Çözünürlük ve Bit Hızları

Çözünürlük	Piksel (YatayxDikey)	Tipik işlenmemiş bit hızı	Tipik ortalama sıkıştırılmış bit hızı
SD	720 x 576	622 Mbps	2.9 Mbps (MPEG2)
HD	1920 x 1080	3.1 Gbps	4.9 Mbps (MPEG4)
UHD 4K	3840 x 2160	12.4 Gbps	22.5 Mbps (HEVC)
UHD 8K	7680 x 4320	49.8 Gbps	40.0 Mbps (HEVC)

Technology Futures. Saunders, 2021, s.51

DVB-T2 spesifikasyonları 4K servislerinin dahil edilmesini sağlamıştır. Fransız CSA (Conseil Supérieur de L'audiovisuel), 2014 yılında Paris'te Eyfel Kulesi'nden deneysel, piyasada kendini kanıtlamış bir 4K hizmetine izin vermiş ve bu hizmet şimdi diğer bölgelere de genişletilmiştir. İspanyol kamu yayıncısı RTVE ise, DVB-T2 platformu üzerinden 8K iletimini başarıyla sergilemiştir (Clover, 2020).

Karasal UHD hizmetlerinin (4K veya 8K) eklenmesi çok önemli bir kapasite gerektirecektir. Ancak, DTT iletimleri için kullanılabilen toplam bant genişliği sınırlıdır. Günümüzdeki tek serbestlik derecesi, DVB-T yerine DVB-T2'nin kullanılması (kapasiteyi 24'ten 40 Mbps'ye çıkarma) ve HEVC gibi daha verimli sıkıştırma teknolojisinin kullanılmasıdır (Saunders, 2021, s. 54).

İzleyici için en iyi video kalitesinin sağlanabilmesi için video kaynaklarının ve ağ yapısının geliştirilerek en verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Ağ altyapısı için dikkat edilmesi gereken ölçütlerden biri kullanıcı sayısıdır. Kullanıcı sayısının fazla olduğu yerlerde altyapı güçlendirilmeli ve daha fazla bant genişliği için dijital abone hattı erişim çoklayıcısı/paylaştırıcısı (DSLAM) kurulmalıdır. Verimliliği sağlamak için ana yayın merkezlerinin çevresine kullanıcı yoğunluğuna göre uç yayın birimleri kurulmalıdır (İnce, 2010, s. 62).

Tüketim kısmı değerlendirildiğinde ise seyirciler tarafından televizyon almak için kullanılan donanımın, mobil cihazların küçük ekranlarından çok büyük duvar boyutlu ekranlara ve projeksiyon sistemlerine kadar genişlemeye devam edeceği öngörülmektedir. Bu tür ekranlar yalnızca televizyon alımı için değil, aynı zamanda, artık kolayca 4K veya 8K çıkış ve daha yüksek kare hızları üreten oyun konsolları da dahil olmak üzere, diğer ev video kaynakları için de kullanılmaktadır.

Ekran teknolojileri normalde 4K veya giderek artan oranda 8K çözünürlük sağlayabilmekte ve genellikle HDR şeklindedir. 16K ekranlar da mevcuttur. Bir HDR görüntüsü, canlı parlaklığı ve genişletilmiş rengi nedeniyle hemen hemen her mesafeden ayırt edilebilirken, bir ekranın altında yatan çözünürlüğü ayırt etme yeteneği, izleme mesafesine veya daha özel olarak bir pikselin göze gösterdiği açıya bağlıdır. Daha yüksek çözünürlüklü bir ekranın avantajları, gözün ekranın altında yatan yapısını görememesidir. 8K'da çekilen, dağıtım için 4K'ya dönüştürülen ve ardından 8K ekranda görüntülenmek üzere alıcıda yukarı dönüştürülen görüntüler, doğal 8K görüntülerden neredeyse ayırt edilemez şekilde görünecektir.

Televizyon ekranının genel görüş açısının alanı ve aralığı önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Ekran çözünürlükleri arttıkça, izleyici alttaki piksel yapısının farkında olmadan ekrana daha yakın oturabilir. Tüm ekranın kapsadığı açı daha sonra büyür ve bu, yatay olarak yaklaşık 90 dereceye veya daha fazlasına ulaştığında, izleyici görüş alanına hakim olur. Bununla birlikte, sınırlı bir görüş açısına sahip küçük ekranlı bir mobil cihaz kullanan izleyici için, bu tür bir kompozisyon tamamen kabul edilemez olacaktır ve yakın çekimler gerekli olur. Benzer bir argüman, ekran grafiklerinin kullanımı için de geçerlidir, dolayısıyla bu, çok büyük ekran durumunda büyük görüntüye göre küçük olabilir, ancak küçük ekran için nispeten daha büyük olması gerekmektedir.

Sonuç olarak video kalitesinin değerlendirilmesi yalnızca yüksek QoS gereksinimlerine bağlı olmakla kalmadığı, aynı zamanda video kalitesini kullanıcı merkezli olarak algılayan yeni bir terim olan QoE ihtiyacının da vurgulandığı görülmüştür.

Kullanıcı deneyimi de gelişecektir. Uzaktan kumandalar, hareket ve dokunsal özellikleri kapsayacak yapay zeka ve konuşma aracılarının gücü ve kapasitesi fark edilecektir. Bu olası gelişmeler, geleneksel önemin değerini sorgulayacak ve her zamankinden daha zengin metadata sağlanmasının önemini artıracaktır. Buluttaki bilgi işlem gücünün kapasitesi ve kapasitesi o kadar hızlı artıyor ki, evde görüntüleme ve navigasyon için gereken bilgi işlem gücünün çoğu, son cihazdan buluta taşınabilecek ve bu da basitliği, güvenilirliği, enerji verimliliğini ve güvenliği artıracaktır.

4.4.3. Mobil Ağlar ve Video Kalitesi

Bilgisayar teknolojisinin ve ağ teknolojisinin sürekli gelişmesiyle birlikte, kullanıcılar video netliği için daha yüksek gereksinimler ortaya koydular. Ayrıca piyasada çok sayıda yüksek çözünürlüklü ve ultra net cihaz bulunmaktadır. Bu cihazlar için, iletim hızı ve iletim kalitesi, bu cihazların ilgili netliği sağlayıp sağlayamayacağını belirleyen ana faktörlerdir. 5G kademeli olarak tanıtıldığından ve 4G'nin yerini aldığından, artan bant genişliği ve daha düşük gecikme süresi vaadi daha fazla kuruluş için bir gerçeklik haline gelmektedir. Video sektöründe telekom operatörleri, içerik sağlayıcılar ve yayıncılar hizmetlerini genişletebilir ve yeni ürünler sunabilir. Bu bakımdan 5G mobil iletişimin aktarım hızı çok yüksek, genellikle gigabite ulaşmaktadır. Böyle bir arka plan altında, HD video sınırsız koşullar altında iletilecek ve kullanıcıların istedikleri zaman, istedikleri yerde HD video izleyebilmeleri sağlanacaktır (Showeu vd., 2020, s. 3).

Temel olarak, kablolu ve kablosuz ağlar video iletiminin internet katmanında kullanılmaktadır. Kablosuz ortam, video sıkıştırmasını video karelerinin kaybına maruz kalmadan gerçekleştirme sürecinde birçok zorlukla karşı karşıyadır. Oluşan kayıplar düşük kaliteli görüntülere yol açabilmektedir (Shamaya, 2014, s. 1). Düşük bit hızı, hataya meyilli ağlarda düşük çözünürlük gibi iletim faktörleri sınırlamaları getirir ve bu nedenle video kalitesi çeşitli yapaylıklar nedeniyle bozulabilmektedir (Priestley, 2022).

Bir video dizisi içinde çözünürlük değişikliklerine izin veren uyarlamalı çözünürlük değişikliği ARC, farklı ağ koşulları altında uyarlanabilir video iletimi için kullanılan önemli bir özelliktir. Örneğin, kodlayıcı, mevcut bant genişliği düşük olduğunda, düşük çözünürlüklü video verilerini iletebilirken, ağ durumu düzeldiğinde kodlayıcı orijinal tam çözünürlüklü videoyu iletebilmektedir. ARC'nin kapsamlı analizi ilk kez VVC'nin standardizasyonu sırasında, gerçek zamanlı iletişim uygulamaları için JVET'in 13. toplantısında önerilmiştir. ARC, bir video dizisindeki çözünürlük değişikliklerini mümkün kılar; bu, videoyu ağ durumuna göre değişen farklı bit hızlarında uyarlanabilir şekilde iletmek için önemli bir unsurdur. Deneysel sonuçlar, ARC'nin yalnızca video aktarımı sırasında gecikmeler oluşturan bit sayısı artışlarını azaltmakla kalmayıp aynı zamanda kodlama performansında önemli bir gelişme sağladığını göstermektedir (Chang vd., 2020, s.261).

5G fırsatının önemli bir yönü, artan bant genişliğidir. Saniyede bir gigabit akışın mümkün kılınmasıyla, kuruluşlar mevcut HD akışlarının üzerine 4K akışları daha iyi

sağlayabilmekte ve hatta 8K çözünürlüğün yolunu açarak gelişmiş bir görüntü deneyimi yaratmaktadır (Priestley, 2022).

Yüksek Görüntü Kalitesi ve 5G Gereklilikleri

4K ve UHD video oynatma yeteneğine sahip daha güçlü cihazların ortaya çıkışı, UHD medya dağıtımını evlerdeki UHDTV ekranları gibi sabit istasyonlardaki kullanımdan, gelişmiş 4G veya 5G ağlarına uyumlu akıllı telefon ve tablet gibi yeni geniş bant ağları kapsamındaki mobil cihazlara aşamalı olarak taşımaktadır. 5G, yayıncılık endüstrisinin taleplerini karşılamak için yeni çözümler getirmektedir (Carrozzo vd., 2018, s.2). 5G, herhangi bir cihaza, herhangi bir zamanda, herhangi bir yere yüksek kalitede ulaşmak için çözümler sağlayacaktır. MEC, SDN ve NFV, medya içeriği dağıtımında yer alan medya ve ağ kaynaklarının verimli yönetimi ve esnek orkestrasyonu nedeniyle bu bağlamda kilit teknolojilerdir (Carrozzo vd., 2018, s.1).

5G ağları dünya çapında kademeli olarak yaygınlaştıkça, kullanıcıların mobil cihazlarında gelişmiş eMBB uygulamalarını kullanmaya başlaması beklenmektedir. 4K ve 8K video akışının yanı sıra sanal veya artırılmış gerçeklik uygulamaları gibi bu tür uygulamalar, kullanıcı cihazlarına sorunsuz teslimlerini desteklemek için çok daha yüksek veri hızı gerektirirken çok daha iyi sürükleyici deneyimler sunmaktadır. Bu nedenle, 5G eMBB'nin temel hedeflerinden biri, dinamik ve zorlu ağ senaryolarında bu uygulamaların kullanıcıların QoE'sini sağlamaktır (Ge vd., 2019, s. 1).

5G'nin sunduğu olanakların en önemlilerinden bant genişliği sadece başlangıçtır. 5G ayrıca MEC teknolojisini mümkün kılar. Bu, depolama ve işleme yeteneklerinin ağda daha aşağılara itildiği ve daha küçük veri merkezlerinde veya diğer altyapılarda kullanıldığı ve böylece izleyicilere daha yakın yayıldığı yerdir. 5G ayrıca genel bulut operatörlerini, sanallaştırma ortamlarını zorlamaya teşvik ederek MEC altyapısının kullanılmasını sağlamaktadır. Telekom operatörleri ve içerik sağlayıcıları, bulutta ve 5G ağında aynı yazılım teknolojilerini kullanarak, küresel operasyonları yönetmeyi ve yeni hizmetleri hızlı bir şekilde devreye almayı kolaylaştırarak bundan yararlanabilmektedir (Priestley, 2022). Bu altyapının kullanımında her MEC sunucusu, kapsamı altındaki aktif canlı akış oturumlarını, özellikle ara belleğe alma ve video kalitesi gibi gerçek zamanlı QoE durumlarını izler. Bu bağlamlara dayanarak, kullanıcı bazında, oturum bazında

özelleştirilmiş, içeriğe duyarlı QoE güvencesi sağlayan geçici segment tutma vb. gibi gerekli içerik işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, yukarıdaki uygulama katmanı QoE güvencesini tamamlamak için taşıma katmanı performans geliştirme tekniklerini gerçekleştirebilir. Ayrıca bir MEC sunucusu, kapsamı altında aynı canlı akışı kullanan tüm oturumlardan gelen istekleri toplar. Başka bir deyişle, akışın kaç oturum tükettiğine bakılmaksızın, bu MEC sunucusu ile içerik kaynağı arasında yalnızca bir akışın oluşturulması gerekmektedir, böylece son atlamada uygulama katmanı birden çok noktaya yayınını etkin bir şekilde gerçekleştirir (Ge vd., 2019, s. 2).

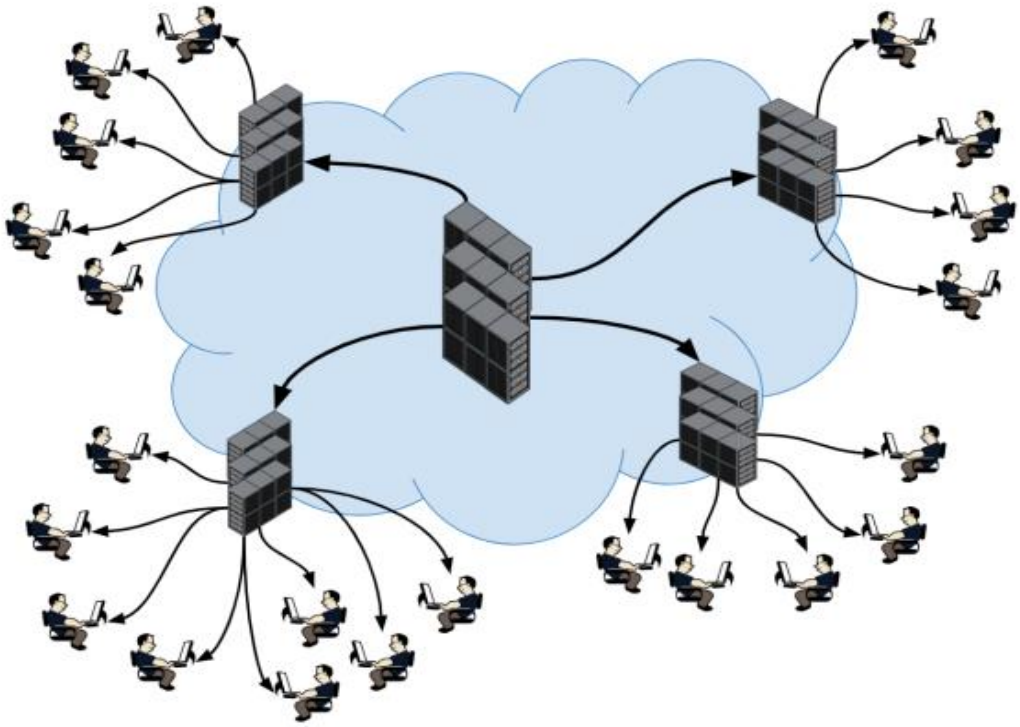
Video teknolojilerindeki yeni kullanım senaryoları ve medya kalitesi hedefleri ile başa çıkmak için, MPEG-4, H.264/H.265 standartları, içeriğin internet üzerinden cihazlar arası dağıtımı için genellikle uygundur. Bununla birlikte, birlikte çalışabilirliği sağlamak ve algısal kaliteyi korumak için uygun ortam kapsayıcı biçimleri, taşıma protokolleri ve ortam kodlama şemaları kombinasyonlarının tanımlanması gerekmektedir. UHD ve HDR'den yüksek çözünürlüklü formatlara, HFR'den 360º videoya kadar özel gereksinimler ortaya çıkmaktadır (Carrozzo vd., 2018, s.2).

5G'nin sunduğu olanaklar, talebe göre genişleyebilen ve daralabilen esnek içerik dağıtım ağı (CDN) ile el ele gitmektedir. Bu, geçici talebi karşılamak için hızlı bir şekilde ekstra önbellek düğümleri ekleyerek ve ardından bu talep sona erdiğinde bunları anında kaldırarak, trafiğin en yoğun olduğu zamanlarda bile yüksek kaliteli bir görüntüleme deneyiminin korunmasına yardımcı olmaktadır. Burada oluşan daha fazla esneklik, fazla kapasite oluşturma ihtiyacını ortadan kaldırarak maliyet ve enerji tasarrufu sağlamaya yardımcı olmaktadır (Priestley, 2022).

Popüler video akışı platformları, yüksek QoE ve yüksek bit hızlı içeriğe yönelik artan taleple başa çıkmak için şu anda büyük ölçekli altyapılara güvenmektedir. CDN de video içeriğinin internet üzerinden teslimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, YouTube, Netflix veya Twitch, gezegen ölçeğinde tescilli CDN kuran kuruluşlar arasındadır. Ayrıca fazladan CDN düğümleri dağıtmakta ve otonom sistemleri ile özel eşleme ilişkileri üzerinde anlaşmaktadırlar. Diğer platformlar, içerik sunmak için genellikle mevcut üçüncü taraf CDN'e güvenir. Bu tür mimarilerde, tüketen istemcilere mümkün olduğunca yakın konumlanmış coğrafi olarak dağıtılmış çoğaltma sunucularının, beklenen iş yükü tahminlerini kullanarak yeterli kapasiteye ulaşması sağlanır. Bir içeriğe erişirken, tüketen istemciler, ağ tıkanıklığını azaltmak ve daha yüksek verim elde etmek için otomatik olarak en yakın sunucuya yönlendirilmektedir.

Şekil 4.13

CDN Örneklemesi. Towards pragmatic solutions to improve the quality of video streaming in current and future networks. Lacaud, 2020, s.2



Dağıtılmış, bulutta yerel bir mimarinin parçası olarak elastik bir CDN, yoğun olmayan zamanlarda işlevlerin ve görevlerin düzenlenmesine olanak tanımaktadır. Buna bir örnek, kişiselleştirilmiş video deneyimleri sunmak amacıyla bir kitaplık oluşturmak için reklamların veya VOD içeriğinin dosya dönüştürmesidir. Elastik CDN ve açık önbelleğe alma yeteneklerini bir araya getirmek, CDN'nin akış hizmeti sağlayıcılarına kiralanmasını kolaylaştırır ve daha sonra içeriğin son kullanıcılara daha yakın bir yerde önbelleğe alınmasıyla, QoE önemli ölçüde iyileştirilmektedir (Priestley, 2022).

Ek olarak, 5G mimarisi, medya akışlarını kontrol etme ve işleme araçlarını uzaktan kumanda yoluyla dağıtma fırsatı sağlayan SDN ve NFV teknolojilerinin dahil edilmesiyle ağ düğümlerinin yeteneklerini geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Bunun bir sonucu olarak, ağ dağıtım zincirinde görüntü veya ses değerlendirmesi, video baskısı, meta veri ekleme ve diğer sistem işleme türleri gibi farklı amaçlar için yayın ve multimedya analizi için farklı türde uygulamalar oluşturabilmektedir (Lopez vd., 2018, s. 1).

UHD, 360º ve IP üzerinden VR dağıtımı için bit hızları, gecikme süresi ve önbelleğe alma performansında daha da yüksek talepler oluşmaktadır. H.265 veya AV1 daha yüksek kodlama verimliliği sağlasa da, yayıncılar sürekli büyüyen bir izleyici kitlesiyle ve 9-24 yaş arası genç neslin lineer televizyon yerine OTT'yi tercih etmesiyle birlikte UHD, HDR ve HFR ile önümüzdeki on yılda trafik maliyetlerinde artışla karşı karşıya kalacaktır.

Yukarıda bahsedilen hususlara dayanarak, mobil cihazlar için UHD dağıtımı tasarlamanın ana konularından biri, bir kullanıcının hareket halindeyken ziyaret ettiği farklı konumlar arasında bir senkronizasyon mekanizması sağlamaktır. Kullanıcıya bağlı olabilen veya kaynak UHD sunucusu tarafından koordine edilebilen, her arabellekte sıkı bir senkronizasyonu sürdürmekten sorumlu bir algoritmaya/fonksiyona ihtiyaç vardır. İlk hedef, cihaz çözünürlüğünden bağımsız olarak 33-40 ms düzeyinde senkronizasyon elde etmek olabilir. Bu, tek kare hassasiyetli bir senkronizasyondur. Önbelleğin boyutu, bu tür dar bir senkronizasyona ve içeriğin kopyalanmasına izin verecek kadar büyük olmalıdır. Öte yandan, seçilen çözünürlük için bit hızının verimliliğini doğrulamak için önbelleklerin izlenmesi gerekmektedir. Böyle bir bit hızı karşılanmıyorsa veya akışı daha iyi çözünürlüklere ölçeklendirmek mümkünse (örneğin bir tıkanıklık çözüldükten sonra), farklı bir bit hızı üretmek ve depolamak için önbelleğe hizmet veren bir kod dönüştürme işlevinin yapılandırılması gerekmektedir. Gerekirse, yeni kod dönüştürücü anında başlatılabilmekte ve uygun şekilde yapılandırılabilmektedir (Carrozzo vd., 2018, s.3).

UHD medyanın ağlar arasında hareketli kullanıcılarla dağıtılması; dinamik ağ ve medya hizmetinin zaman içinde yeniden yapılandırılmasının klasik CDN'lerle mümkün olmayan yönlerinin ele alınması için yeni bir yaklaşım gerektirmektedir. 5G ağları için sanallaştırma teknolojileri ve hizmet zinciri çözümleri, bu sorunu çözmek için yeni fırsatlar sunabilmektedir (Carrozzo vd., 2018, s.3).

Tasarlanan bir çözüm senaryosunda kullanıcılar 5G ağında hareket eder ve sabit video/ses cihazından (örneğin ev ortamında) kişisel mobil cihazlara kusursuz bir medya deneyimi yaşaması amaçlanır. Bu durum farklı ağ bölümlerini geçerken medya içeriklerinin akışını sürdürmek isteyen kullanıcıları taşımak için bir senaryodur (Carrozzo vd., 2018, s.3).

Bağlam ve kullanım yöntemine bağlı olarak, dinamik olan medya içeriği, farklı cihazlarda (ör. akıllı telefonlar, televizyon ekranları, tabletler) kullanıma sunulacaktır. Akışlı içeriği çözünürlük ve video kalitesi açısından optimize etmek için yeni yerel önbelleklerin ve kod dönüştürücülerin kullanıcıya yakın bir yerde başlatılması gerekebilmektedir. Ağ hizmetini altyapı genelinde dinamik olarak uyarlamak ve yeniden yapılandırmak için

mekanizmalar, SDN ve NFV araçlarına dayalıdır, bu da UHD akışı (4K/8K) için gerekli QoS seviyelerini garanti etmek için kullanılmaktadır (Carrozzo vd., 2018, s.3).

Büyük spor veya kültür etkinlikleri gibi daha çok bir yayın koşuluna odaklı uygulamalar ise milyonlarca insanın aynı içeriği aynı anda tükettiği durumlardır. Günümüzün mobil ağları, tüm izleyicilere medya akışını sağlamak için gereken bant genişliğini sağlayamak konusunda zorluk çekmektedir. Aynı anda çok yüksek sayıda kullanıcı, aynı içerik, operatörler için de kalite ve maliyet açısından zorluk teşkil etmektedir. Bu senaryoya bir çözüm yöntemi olarak da deneyimlenen içerikte daha az olası kaynakları içeren her izleyici için görüntüleme deneyimini değiştirme olanağı sunabilmektedir (örneğin, değiştirilebilir ses parçaları, alternatif video açıları). Senaryo, farklı kameralardan akışlar alan farklı eklenti içeriklerini veya belirli bakış açılarında yeniden oynatmalarını içerebilmektedir (Carrozzo vd., 2018, s.4).

Yukarıda sözü edilen senaryolar incelendiğinde çeşitli gereksinimler belirlenmiştir. Gerekli çözümlere ulaşmak için kullanılabilecek Hizmet Sanallaştırma Platformu (SVP), sanal ağ işlevleri ve medya uygulama havuzu dahil olmak üzere birçok uygulamada kullanılabilen genel bileşenleri (izleme, optimizasyon ve sunucusuz işlevler gibi) içermektedir. Beklenen performansları ve QoE'yi elde etmek, UHD medya dağıtımı için CDN'nin hizmet otomasyonunu kullanmak, esneklik ve genişletilebilirlik sağlamak amaçlarıyla SVP için çeşitli gereksinimler tanımlanmıştır:

- SVP, medya hizmetlerinin ve bileşenlerinin otomatik koordinelerini ve yaşam döngüsü yönetimini desteklemelidir,
- SVP, toplanan, toplu istatistikler ve izleme verileri temelinde hizmet zincirlerinin otomatik olarak uyarlanmasını sağlamalıdır,
- SVP (NFV aracılığıyla) medya hizmetlerinin toplanmış, birleştirilmiş, istatistikler ve izleme verileri temelinde otomatik boyutlandırmasını (içeri/dışarı ölçeklendirme) uygulamalıdır (Carrozzo vd., 2018, s.4).

Giderek daha fazla kullanıcının hem mobil hem de masaüstü cihazlardan UHD video gibi yüksek bit hızlı içerikleri tüketmesiyle video iletimi açısından gelecekteki 5G ağlarıyla hedeflere ulaşmak ve son kullanıcıya iyi bir QoE ile UHD canlı ve isteğe bağlı videoları güvenilir bir şekilde gönderebilmek için Radyo Işığının İnterneti (IoRL) adlı bir Avrupa projesi geliştirilmiştir. Lisanssız milimetre dalgalarında ve görünür ışık spektrumlarında çalışan geniş bantlı bir radyo-ışık iletişim çözümü önermektedir. Bu sistem, spektrumdaki belirli elektromanyetik dalga yayılım karakteristiği nedeniyle parazitten etkilenmez ve binaların içinde yaygın olarak yerleştirilmiş radyo ışığı erişim noktalarından

binalarda evrensel geniş bant kapsama alanı sağlar. Bu teknoloji, metro istasyonları veya yeraltı yaya tünelleri gibi diğer kapalı ortamlara da uygulanabilmektedir. IoRL ağ mimarisinin çoğulluğu ve heterojenliği göz önüne alındığında, son teknoloji tek yollu video akış sistemi kullanılarak güvenilirliğin sağlanması zor olabilmektedir, çünkü belirli bir kablosuz ağda bir sinyal kaybı olması durumunda video oynatımı durabilir. Ancak sistemin faydalarından birincisi, binalarda 10 Gbps+ geniş bant iletişim hizmetlerinin sağlanmasıdır. İkincisi, kullanıcı ekipmanı 10 cm hassasiyetle yerleştirilebildiği için coğrafi konumdur. Radyo iletişim sisteminin bir açık alana sığacak şekilde tasarlanması, bulut sunucularının radyo ışığı erişim noktalarından (ev veya harici bulut ağında başka bir yerde) uzakta olabileceği NFV çözümlerini ve dinamik olarak yönlendirmek için bir SDN gerektirmektedir (Lacaud, 2020, s. 6).

IoRL projesi dört farklı kullanım durumuyla ilgilenir: müzelerde, ev ve binalarda, süpermarketlerde ve tren istasyonlarında. Bunların her biri, belirli bir video dağıtım hizmeti belirlendiğinde doğrudan veya yalnızca temel reklam videoları görüntülendiğinde dolaylı olarak video akışıyla ilgili senaryolar içermektedir. Her kullanım durumu için çeşitli video akışı senaryoları açıklanmıştır (Cosmas vd., 2018).

- Evlerde: Kablolu fiber optik bağlantı olmadan günümüzde 4K ve 8K'da yüksek kalitede bir videoyu televizyona veya masaüstü bilgisayara almak zor olabilmektedir. 5G iç mekan bağlantıları, mobil cihazlar aracılığıyla yüksek kaliteli medya sağlamak için binalarda faydalı olabilir. Video akışıyla ilgili bir diğer konu da canlı içerik oluşturmaktır. Twitch vb. canlı platformların yükselişiyle giderek daha fazla insan yalnızca video oyun oturumlarını değil, aynı zamanda müzikal performansları veya mobil yakalama cihazları gerektiren belirli etkinlikleri canlı yayınlamaya isteklidir. 5G ağlarının yüksek bant genişliği ve düşük gecikme süresi, tüm bu senaryoların her kullanıcıya çok yüksek kaliteli videolar yüklemesine ve teslim etmesine yardımcı olabilir.
- Müze: Büyük müzelerin, belirli eserler veya çocuklar için eğlence hakkında ek bilgi sağlamak için ziyaretçilere zengin medya içeriği sunması gerekebilmektedir. Dikkate alınması gereken bir diğer senaryo, kulaklıklar ve videolar kullanan sanal turizmdir. 5G ağlarının özellikleri ve güvenilir video dağıtım mekanizmaları, her iki durumda da içeriğin yüksek kalitede sitedeki veya uzaktaki her ziyaretçiye yoğun saatlerde iletilmesi için kullanışlıdır.
- Süpermarket: Süpermarket sahipleri de yüksek kaliteli video akışından yararlanabilmektedir. Videolar, alışveriş kullanıcılarına AVM'deki lokalizasyonlarına göre veya online sipariş verirken uzak bir senaryoya göre bilgi veya reklam sağlamak için

kullanılabilmektedir. Ayrıca müze senaryolarında olduğu gibi çocukları eğlendirmek için faydalı olabilirler.

- Tren istasyonu: Tren istasyonlarında hem müşteriler hem de bakım personelleri için güvenilir video dağıtımı önemlidir. Müşteriler, tren beklerken veya seyahat sırasında en sevdikleri videolara erişmek isteyebilirler. Düşük gecikmeli canlı akış ve yüksek kaliteli video konferans, teknisyenlere yardımcı olmak için sahada bir uzman bulunmadığında uzaktan müdahale için açık bir öneme sahiptir.

5G IorL projesinde, istemci, veri iletiminde bir kesinti olması durumunda güvenilirlik sağlamak için çok yollu ve aynı anda yedekli segmentlerden düşük kalitede video segmentlerini yüksek kalitede almak için kullanılmaktadır. Alındığında, orijinal istenen içerik kalitesini yeniden oluşturmak ve görüntülemek için istenen akışlar birleştirilmektedir (Lacaud, 2020, s. 114).

4.4.4. Görüntü Teknolojilerinin 5G Uygulamalarının Uluslarası Örnekleri

Seyrek nüfuslu ve zayıf bağlantılı konumlardan güvenilir ve yüksek kaliteli yayınların nasıl sağlanacağı sorunuyla ilgili İspanyol kanalı RTVE, bir yenilik testi gerçekleştirmiştir. Geçtiğimiz Temmuz ayında Uluslararası Klasik Tiyatro Festivali kapsamında gerçekleşen oyunla RTVE ekibi, hizmet kapasitesini göstermek için 5G dahil olmak üzere en son teknolojileri kullanmayı amaçlamıştır. Yayının dağıtımı, TVU Producer adlı bulut tabanlı bir canlı video prodüksiyon platformu kullanılarak yapılmıştır. 5G mobil IP video vericisine bağlı bir kamera ile bir mobil uygulama aracılığıyla yayına entegre ve senkronize edilmiş birkaç 5G mobil cihaz tarafından yakalanan görüntüler kullanılmıştır. Aynı zamanda kullanıcılara bağımsız kanallar atamak için ağların bölümlere ayrılmasını sağlayan 5G'nin bir özelliği olan ağ dilimleme yetenekleri de test edilmiştir. Bu projeden elde edilen deneyime dayanarak, özellikle yüksek kaliteli canlı etkinlikler için 5G kapsamını planlamak ve yürütmek için yeni fırsatlar oluşacağı değerlendirilmiştir (Hernández, 2021, s. 6).

Sky Deutschland ve Vodafone, bir Bundesliga maçının maç öncesi ve sonrası yayınlarını 5G üzerinden yayınlamak için güçlerini birleştirmiştir. Fortuna Düsseldorf ile VFL Osnabrück arasındaki maç 16 Aralık 2020'de taraftarlar tarafından akıllı telefonlar üzerinden 9:16 oranında izlenebilmiştir. Vodafone, 5G iletiminin güvenilir olmasını sağlamak için ağ dilimlemeyi kullanmıştır (Priestley, 2020).

Bir başka çalışmada ise Verizon, Bloomberg Media, Zixi ve AWS, 5G Edge Computing[10] sistemiyle ağların uydulara ihtiyaç duymadan canlı 4K UHD içeriği yayınlamasını nasıl sağlayabileceğini keşfetmek için tasarlanmış bir 5G test projesi başlatmıştır. Denemede Bloomberg, Bloomberg TV+ canlı yayınlarını 4K UHD olarak paketlemek ve sunmak için AWS mm wave ve Zixi'nin Yazılım Tanımlı Video Platformu (SDVP) ile 5G Edge'i kullanmıştır. Şirketler ayrıca 5G ve AWS tarafından desteklenen Edge Computing aracılığıyla Bloomberg TV+ 4K UHD içeriğinin akışını doğrudan tüketicilerin 5G bağlantılı cihazlarına yönelik test etmiştir. Zixi Yönetim Kurulu Başkanı ve CEO'su Gordon Brooks, "5G üzerinden bozulmamış 4K UHD kalitesinde içerik sunarken Edge Computing'den faydalanmak izleme ve değerlendirme endüstrisini potansiyel olarak değiştirebilir."demiştir (Meier, 2022).

Video dağıtımında öncü şirketlerden Ateme ise Haziran 2022'de izleyicilerin işe giderken veya bir spor etkinliğinde mobil cihazlarında UHD içeriği izlemelerini sağlayacak yeni bir 5G akış çözümünü piyasaya sürmeyi planlamıştır. Bu çözüm, Eurovision Şarkı Yarışması'nın bir parçası olarak ve büyük bir tenis turnuvasının yanı sıra İngiltere'deki bir stadyum içi proje için zaten kullanılmıştır. Şirkete göre, 5G çözümü, kaç kişi kullanırsa kullansın, hem görüntü kalitesi hem de düşük gecikme süresi açısından üstün bir deneyim sağlamaktadır. Bu, Rohde ve Schwarz'ın entegre 5G yayın teknolojisinin yanı sıra VVC kodek bileşeni, düşük gecikme süresi için Ortak Medya Uygulama Formatı (CMAF) akış protokolü ve MEC mimarisi aracılığıyla azaltılmış aktarım gecikmesi ile sağlanmaktadır. Ateme 5G medya akışı çözümleri direktörü Williams Tovar, "5G ile UHD içeriği ve yeni metaverse video hizmetleri sayesinde mobil video tüketiminin artması bekleniyor" demiştir (Priestley, 2022).

Kanadalı prodüksiyon stüdyosu Felix & Paul Studios, NASA'nın Ay'a planlanan dönüşündeki ilk büyük adımını canlı yayınlayacaktır. Şirket, gerçekleşmesi beklenen Artemis I'i canlı yayınlamakla kalmayıp ve izleyicilere fırlatma rampasından türünün tek örneği bir ön sıra koltuk vereceğini söylemiştir. Artemis I, 2024 yılına kadar astronotları ay yüzeyine geri getirme umuduyla sistem performansını doğrulamak için Ay'ın binlerce mil ötesine gidecek olan entegre Uzay Fırlatma Sistemi roketi ve Orion uzay aracının insansız ilk uçuşudur. Felix & Paul Studios, Space Explorers: Artemis Ascending'i 8K, 360º sanal gerçeklikte; Venues in Horizons World, Facebook 360º ve belirli bölgelerdeki

[10] İstemci verilerinin ağın çevresinde kaynağına mümkün olduğunca yakın olarak işlendiği bir teknolojisi mimarisidir ve nesnelerin internetindeki ağa bağlı aygıtların sayısı tarafından yürütülmektedir.

telekomünikasyon ortaklarının 5G 360º akış platformları da dahil olmak üzere bir dizi platformda canlı olarak yayınlamayı planlamaktadır (Priestley, 2022).

5G bağlantı ile gerçekleşen ilk 8K yayın denemesi ise Çin'de gerçekleşmiştir. 30'dan fazla UHD büyük ekran ve Çin'in bu ilk 8K televizyon yayını görüntüleri Şanghay, Guangzhou, Shenzhen, Chengdu, Hangzhou, Jinan, Haikou ve Qingdao dahil olmak üzere dokuz şehirde halka açık yerlerde yayınmıştır. China Central TV (CCTV), bunun bir 5G ağı üzerinden dünyanın ilk 8K UHD TV canlı yayını olduğunu bildirmiştir. 2022'de CCTV ayrıca, Pekin Kış Olimpiyatları öncesinde 8K UHD kanalları yayınlamaya başlayacak ve içerik üretiminden düzenlemeye kadar tam zamanlı kapsamlı 8K Telestream canlı izleme dahil olmak üzere oyunlar için standart üretim formatı olarak 8K UHD'yi uygulamaya geçirecektir (Broadband Tv News Correspondent, 2021).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde “Sonuçlar” ve “Öneriler”e dair bilgilere yer verilmiştir. Bölüm iki alt başlık altında ele alınmaktadır.

Sonuçlar

Televizyonun icadından günümüze kadar olan süreçte yayının en önemli elementlerinden olan görüntü teknolojileri de pek çok değişim geçirmiştir. Televizyonun ilk zamanlarında ekranın dönen diskli küçük bir motora ve neon bir lambaya sahip olduğu elektromekanik sistemler kullanılmaktaydı. Bunu izleyen süreçte 20. yüzyılda elektronik renkli televizyonların icadıyla birlikte önemli gelişmeler devam etmiştir. Bu gelişmelerin süregelmesiyle analog ve sayısal yayıncılık sistemleri ortaya çıkmıştır. Sayısal yayıncılığın gelişmesiyle yüksek kaliteli bir yayın deneyimine olan talep artmıştır, dolayısıyla izleyicilerin yüksek çözünürlüklü video ve hareket halinde oldukları durumlarda yayınlara erişim gibi artan talepleri, teknolojide yeni hizmetler sunmanın yolunu açmıştır. Tüm bu süreç sonrasında mobil televizyon sistemleri tasarlamak için adımlar atılmıştır. Sayısal tekniklerle oluşturulan ve iletimi yapılan mobil yayıncılığın ve geniş bant kullanımının yaygınlaşmasıyla erişilebilirlik ve kullanıcı deneyimi konularında önemli aşama kat edilmiştir. Geniş bant iletiminde ağ bağlantıları üzerinden ses, görüntü ve diğer verilerin çok yüksek hızlarda iletimini sağlanmaktadır ve böylece etkileşimli ve özelleştirilmiş medya hizmetlerinin geliştirilmesini amaçlanmaktadır.

Gelecekte yayın, mobil ve geniş bant hizmetleri arasında daha çok yakınsama olması beklenmektedir. Yakınsama terimi, sadece yayın hizmetleri, mobil hizmetler ve geniş bant hizmetleri dahil olmak üzere tüm hizmetlerin tek bir ağda birleştirilmesi anlamına gelir. Ağların IP tabanlı teknolojiye geçişi ile artık dünya iletişim hizmetlerinin birleştiği bir çağdadır. Bunun başlıca nedeni, dijital teknolojinin kullanılması, bilgi işlem gücündeki artışın eşlik ettiği maliyetteki azalma, veri sıkıştırma teknolojisindeki gelişmeler ve IP tabanlı paket anahtarlamanın geniş çapta benimsenmesidir. Sonuç olarak, bu gelişmelerin yayın mühendisleri, bilim adamları ve izleyiciler için heyecan verici bir dönem olacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde işlenen ve görüntü teknolojilerinin temellerinden olan video çözünürlükleri, isteğe bağlı video ve görüntü hizmetlerine olan talebin arttığı yayıncılık endüstrisinde kullanıcı deneyimini arttırma noktasında temel yapıtaşlarından biridir. Yüksek çözünürlüklü ve düşük gecikmeli video elde etmek için ise video sinyallerini kodlamak amacıyla verimli dijital sıkıştırma tekniklerinin kullanılması esastır. Bu kapsamda video sıkıştırma teknikleri çözünürlük ile doğrudan ilgilidir.

Yayıncılıkta görüntünün iletimi ve işlenmesi aşamalarında ortaya çıkabilecek her türlü bozulmanın algılanmasına dayalı kriterler görüntü kalitesini belirlemektedir. İzleyicilerin memnuniyetini sağlamak için ortaya çıkabilecek videoda kayma, bulanıklık, piksellenme gibi her türlü sorunu engellemek temel amaçlardandır. Sorunsuz bir görüntüyü elde etmek için yüksek çözünürlük, yüksek kare hızı ve yüksek dinamik aralık temel bileşenler olarak kabul edilmektedir. Daha büyük, daha keskin görüntüler, bir ekrana aynı anda daha fazla piksel sığdırmayı gerektirir. Bu çerçevede günümüzün en popüler uygulamalarından biri 4K teknolojisidir.

4K teknolojisi, üretken faaliyetlerle bağlantılı olarak film, eğlence ve cihaz yapım sektörleri için oldukça cazip gelen bu standarda sahip ürünlerin görsel-işitsel kalitesini önceki teknolojilere sahip olanlara göre artırmak açısından bir devrim anlamına gelmektedir. Kısa sürede televizyon, film ve görsel-işitsel içerik üretimi, büyük şirketlerin piyasayı kontrol etme arayışının bir parçası olarak program, etkinlik, kanal ve video yayınları gibi bu formattaki kopyalara ilgi duymaya başlamıştır.

4K televizyonun piyasaya sürülmesi, insanlığın şu anda geliştirmekte olduğu üstel modernleşme seviyesinin ve yaşam kalitesinde sürekli iyileştirme arayışının bir parçasıdır. Bu yeni formatla, görsel-işitsel içeriğin daha dikkat çekici bir şekilde yaygınlaştırılması mümkün olacak, böylece 21. yüzyıl toplumunda insanoğlu için önemli değerlerin aktarılmasında bir araç olarak hizmet edebilecektir.

4K çözünürlüklü dijital televizyonun sunduğu ana avantaj, daha sürükleyici ve sinema benzeri bir deneyim ile daha yüksek görüntü kalitesidir. Görüntünün kalitesi, program süresince izleyicinin yaşadığı stres düzeyinde bir azalmayı teşvik etmektedir. Bu şekilde, izleyici aktarımın içeriğiyle daha fazla ilgilenmeye teşvik edilmektedir. 4K teknolojilerinin hızlı yayılımı için karşılaşılan teknolojik sınırlamalara rağmen, UHD teknolojisi şu anda oldukça popüler hala geliştirilme aşamasındadır. Bununla birlikte 8K yayınlar için test çalışmaları devam etmektedir.

Görüntü kalitesindeki iyileşme, daha yüksek düzeyde algılanabilir grafik ayrıntıları anlamına gelmektedir, bu nedenle bu teknolojinin sağlık, kültür, eğitim ve güvenlik gibi

birçok alanda uygulaması bulunmaktadır. Örneğin polislerin kullandığı gibi iç düzen kurumları için çok faydalı bir seçenektir. Çünkü bu standartta yapılan kayıtlar, yakaladığı olaylar hakkında harika grafiksel bilgiler sağlar, bu nedenle adli soruşturmalarda, yasal süreçlerde ve gözetim ve denetimde çok iyi kullanılabilir.

Görüntü kalitesindeki bu ilerlemeler video sıkıştırma teknolojilerinde de gelişmeleri mecbur kılmıştır. Video dosyalarının az yer kaplaması, işlenmesi sırasında kolaylık sağlaması ve iletiminin daha kolay gerçekleşmesi gibi nedenlerden dolayı dosya boyutlarının azaltılması için sıkıştırma teknolojileri kullanılmaktadır. Video kodlamasında kodlayıcı/kod çözücü olarak kullanılan kodekler 1993 yılında MPEG-1 ile geliştirilmeye başlanmıştır. Günümüz standartlarında internet video trafiğinin iyice artmasıyla kodlama verimliliği yüksek video kodlama algoritmaları tasarlanması gerekli olmuştur. Bu aşamada yüksek verimliliği sağlayan kodeklerden biri HEVC olmuştur. Apple TV, YouTube ve Netflix gibi platformların da kullanımına destek verdiği AV1 kodeği ise 4K, 8K, yüksek dinamik aralık ve geniş renk aralığına geçiş sırasında gelişmiş bant genişliği verimliliği sağlayacağı düşünüldüğünden dolayı bir başka dikkat çeken kodektir. Bit hızı tasarrufuyla HEVC'ye alternatif olması beklenen bir kodek ise VVC'dir. Üstün kodlama verimliliği, çok yönlülüğü ve geniş endüstri desteği ile VVC, yeni nesil video kodek bileşenlerinin ticari gereksinimlerine yönelik teknik çözümlerin başında gelmektedir. 4K UHD'nin benimsenmesini hızlandırmak ve 8K gibi yayın ve geniş bant için gelişmiş video deneyimlerini sağlamak için tercih edilmesi gereken kodeklerden biridir. 2021'de AVS3 kodek tanıtılmıştır ve DVB, AVS3'ü dünyanın en verimli video kodlama teknolojileri arasına yerleştirdiğini söylemiştir. Günümüzde kullanılan bu kodeklerle yüksek kalitedeki görüntüleri iletmek kolaylaşmış olup veri boyutlarının kapladığı alan oldukça azalmıştır.

Günümüzde gittikçe katlanan kablosuz ve kablolu kapasite ve benzer bir oranda artan bilgi işlem gücüyle, mobil, sabit ve yayın sistemlerinde kullanılan verilerde olağanüstü bir büyüme vardır. Yayıncılık uygulamaları, kalitede senkronize görsel-işitsel akış için yüksek miktarda ağ kapasitesi ve son derece düşük gecikme gerektiren en zorlu hizmetler arasındadır. UHD 4K ve 8K çözünürlükler daha yaygın hale geldikçe insanlar artık içerikleri istedikleri zaman istedikleri yerde farklı platformlarda izleyebilmeyi beklemektedirler. Bu da yeni nesil mobil ağ teknolojileri ve 5G ile sağlanabilmektedir.

Üçüncü bölümde mobil ağ sistemleri ve 5G'nin getirdiği, yayıncılıkta fayda sağlayabilecek yeni teknolojiler üzerinde durulmuştur. 5G alanındaki son teknolojik gelişmeler, dinamik verimli kaynak tahsisi yoluyla yüksek kaliteli medya hizmetleri sunarak medya endüstrisinin potansiyelini ortaya çıkarma vaadini taşımaktadır. Bu yeni 5G ağlarının

sunduğu ultra düşük gecikme süresi, çok yüksek bant genişliği ve esnek dinamik yapılandırmadan yararlanarak gelişmiş medya uygulamalarının gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğini doğrulamak için uygulamalar ortaya çıkmaya başlamıştır.

Medya tüketimi açısından gelecekteki 5G ağlarının zorlukları tartışılırken SDN ve NFV yetenekleri kullanılarak birçok sistem geliştirilmiştir. Trend olan bir konu, önbelleğe alma için uç sunucuların kullanılmasıdır. Son kullanıcılara daha yakın olmak için 5G ağlarının ucundaki sunucuları ve makineleri kullanarak video dağıtımını optimize etmek için farklı sistemler önerilmektedir. Bu çalışmalar daha da ileri gidip video dağıtımına yardımcı olmak için SDN/NFV ile ağ tarafı çözümünün kullanımı değerlendirilmektedir. Bunun dışında MEC, mm wave, eMBB ve ağ dilimleme gibi pek çok 5G teknolojisi de görüntü alanında fayda sağlayacak sistemler arasındadır.

Multimedyadaki bahsedilen bütün ilerlemenin, bu dijital çağda teknolojilerin ve yeni uygulamaların bir sonucu olarak çeşitli kritik zorluklar ve yeni fikirlerle ilerleyeceği öngörülmektedir. Değişen teknolojinin farkında olmak esastır. Bu durum, değişimlerin yayınları nasıl etkileyebileceğini düşünmemizi sağlar. Yeni medya teknolojilerinin dijital yayıncılık ve internet ile bütünleşmesi, analog yayıncılığın sınırlarını kaldırmış ve kamusal platformların geleneksel yapısını zayıflatmıştır. Bu durum, yayıncı ve izleyici arasındaki ilişkinin doğasını da değiştirmiştir. Bilgi çağında yeni medya, kullanıcıları için bir tartışma ortamı yaratmış; bilgilendirici, eğlenceli ve daha da önemlisi etkileşimli bir ortam sağlamıştır. İnsanların bu şekilde yüksek kaliteli iletişim hizmetlerinden yararlanmaya devam etmelerini ve yeni teknolojilerin oluşturduğu her türlü riskten korunmalarını sağlamak için yenilikler geliştirilmiştir. Çeşitli video kalite ölçütleri, 5G'nin ağ kapasitesinin birçok kısıtlamayı ortadan kaldırarak yayınları 5G üzerinden dağıtımla önemli ölçüde iyileştirmesi ve 5G ağları tarafından etkinleştirilen görüntü teknolojilerinin çeşitli kullanım durumları bu tez çalışmasının son bölümünde gözden geçirilmiştir.

Sanal gerçeklik, arttırılmış gerçeklik, karma gerçeklik, genişletilmiş gerçeklik ve yapay zeka gibi sistemlerin kullanımıyla gelişen uygulamalar, ağ performansının görüntü teknolojilerinde kullanımının önemini ortaya çıkarmıştır. Sözü edilen yeni akıllı sistemlerin, mobil cihazların ve akıllı televizyonların, 360º sürükleyici video ve 4K UHD içeriği gibi bant genişliği tüketen medyaları desteklemesi beklenmektedir. Genel olarak, video teknolojileri yüksek yenileme hızları, kare hızları ve çözünürlük gerektirmektedir ve bütün bu bileşenler kullanıcıların istediği gibi bir deneyim elde etmesi için temel yapıtaşlarıdır. Bu bağlamda izleyicilerin algısı ve beklentileri, yükselen standartlar ile birlikte artmış olup

insan görüşü pürüzsüz hareketler gerektirdiğinden, gecikme, istenilen deneyimi elde etmede önemli bir rol oynamaktadır. Bu noktada da mobil ağların önemi devreye girmiştir.

Kullanıcıların günümüzde sürekli hareket halinde olup istedikleri yerden istedikleri cihazdan yayınlara erişmek istemeleri sonucunda, video kablosuz ağ üzerinden taşındığında, içerikte sıkıştırma ile iletim sırasındaki hatalar nedeniyle kalite düşüşü meydana gelebilmektedir. Bu sorunlara çözüm oluşturma amacıyla beşinci nesil hücresel ağ, çok çeşitli yeni kullanım durumları ile gelmiştir. 5G'nin vaat ettiği önemli bant genişliği ve düşük ağ gecikmesi göz önüne alındığında, çözüm hem dış mekan mobil kullanıcılarına hem de iç mekan cihazlarına fayda sağlayacaktır. IoRL projesi, iç mekan ağlarına odaklanmıştır ve mevcut WLAN ağlarının görünür ışık ve mm wave yardımıyla iyileştirilmesini önermiştir. Binanın içine yerleştirilen akıllı bir ev ağ geçidi, son kullanıcılara hizmet vermek için farklı yollardan veri trafiğini yönlendirmekten sorumlu olacaktır. eMBB, MEC, SDN ve NFV, medya içeriği dağıtımında yer alan medya ve ağ kaynaklarının verimli yönetimi ve esnek yöntemleri sebebiyle diğer kilit 5G teknolojileri arasındadır. Sanal ve artırılmış gerçeklik gibi uygulamalar, kullanıcı cihazlarına görüntülerin sorunsuz teslimlerini desteklemek için çok yüksek veri hızı gerektirmektedir. 5G teknolojilerinden eMBB'nin temel hedeflerinden biri, dinamik ve zorlu ağ senaryolarında kullanıcıların deneyim kalitesini arttırmaktır. Ağ hizmetlerini yapılandırmak için kullanılan SDN ve NFV da UHD akışı için gerekli servis seviyelerini garanti etmek için kullanılmaktadır. Sonuç olarak yeni nesil ağlar aracılığıyla yüksek kaliteli ve düşük gecikmeli görüntülerin kullanımı her geçen gün gelişmeye devam etmektedir.

Öneriler

- Teknoloji konusunda bir gelişim savaşı vardır; bunu kazanmak ve ülkemizde yeni nesil genç medya bilimcileri, mühendisleri, teknoloji uzmanları ve yaratıcıları yetiştirmek için büyük bir çaba gösterilmelidir.
- Geleceğimizi inşa etmek ve gelişmekte olan görüntü teknolojilerine ayak uydurabilmek için inovasyonun eşiğinde yeni yeteneklere, fikirlere ve girişimlere ihtiyacımız vardır. EBU, ITU, öncü teknoloji şirketler; medya yeniliği ve teknolojileri ile ilgili eğitim faaliyetleri, seminerleri ve konferanslar ile ilgilenen üniversiteleri ve bu gibi

teknolojik girişimlerle ilgili özel kurum ve kuruşlar ile verimli ve sürekli bir işbirliği düşünülebilir.

- Değişen görüntü teknolojileri ve mobil yayıncılığın Türkiye'de kullanımı konusunda RTÜK öncülüğünde medya hizmet sağlayıcı kuruluşlar ile fikir, beklenti ve çalışmalar hakkında paylaşımlar yapılmalıdır.
- Ülkemizde altyapı ve maliyet kaynaklı sorunlar sebebiyle ultra yüksek çözünürlüklü yayınlara geçişte yaşanan problemler incelenmeli, yüksek çözünürlüklü 4K ve hatta 8K yayınların 5G ağlarıyla kullanımı konusunda test denemeleri teşvik edilmelidir.
- Görüntü teknolojilerinin gelişimine paralel olarak uluslararası platformlardaki Ar-Ge çalışmalarının RTÜK tarafından yakından takip edilmesi, bu çalışmalara ülkemiz adına katılımın teşvik edilmesi ve yeni nesil teknolojik ekipmanların ülkemizde de üretilmesine imkân sağlamak üzere yerli sanayinin bu alana özendirilmesi amacıyla Ar-Ge kaynakları kullandırılması teşvik edilmelidir.
- Ülkemizde görüntü teknolojileri ve 5G kullanımıyla ilgili RTÜK tarafından mevzuatın 5G teknolojisi ve yüksek çözünürlüklü yayınlar ile oluşacak ihtiyaçlar çerçevesinde esnekliğinin sağlanması, 5G hizmetlerinin yayıncılıkta sunulabilmesi için ilave altyapı ihtiyacının tespiti ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından alınacak tedbirlerin belirlenmesi, üniversiteler ve özel sektör kuruluşlarıyla görüntü teknolojilerini geliştirmek üzerine iş birliği yapılması, uluslararası kuruluşların 5G'ye yönelik standardizasyon çalışmalarının incelenmesi ve işletmecilerin 5G konusundaki hazırlıklarının takip edilmesi ve yönlendirilmesi gerekmektedir.
- Video akışı endüstrisi, en heyecan verici teknoloji endüstrilerinden biri olmaya devam edecektir. Sadece 20 yıl kadar önce yükselmeye başlamıştır ve gelişmeye devam etme hızı şaşırtıcı şekilde artmaktadır. Önümüzdeki bir yıl içerisinde, daha yeni ve daha verimli kodek bileşenlerinin kullanımının artmasını beklenmektedir. Medya şirketleri için, daha geniş kodek seçeneklerine erişim için adımlar atılmalıdır ve bu sayede izleyiciler için yüksek kaliteli görüntüleme deneyimini optimize etme yolunda ilerleme sağlanmış olacaktır.
- Günümüzde medya içeriği, çeşitli geniş bant ve yayın teknolojileri aracılığıyla iletilmektedir. Bu farklı teknolojiler bir şekilde rakip haline gelse de, güçlü yanlarından ve tamamlayıcı özelliklerinden yararlanarak koordineli kullanımları ve yakınsamaları hem operatörlere hem de müşterilere birçok fayda sağlayabilir. Örneğin, yayın yapan televizyon içeriği, çoklu görüntülü yayın, ses dili seçimi ve gerçek zamanlı web beslemelerinin dahil

edilmesi gibi zenginleştirilmiş ve kişiselleştirilmiş hizmetler sağlamak için isteğe bağlı geniş bant medya içeriğiyle genişletilebilir.

- Yayıncılık için her biri kendi özellikleri, faydaları ve sakıncaları olan birçok teknoloji, protokol ve standart vardır. Bu teknolojilerin birleşik ve koordineli kullanımı, bu tezde açıklandığı gibi birçok fayda sağlayabilir.
- Yeni nesil teknolojiler sürekli değişmekte ve gelişmekte olup düzenli eğitimlerle genç nesillerin yaratıcılığı teşvik edilmelidir. Kullanıcılar, sürekli kullandıkları yayınların üretim ve dağıtım süreçlerini öğrenerek daha yakından takip edebilir.
- Hızla gelişen medya ve teknoloji dünyasında bizi istediğimiz noktaya götürecek referans stratejilerinin ve ilgili teknolojilerin belirlenmesine proaktif olarak yardım edilebilir. En genç nesillerimizin sadece kendi geleceklerini tanımlamalarına yardımcı olmakla kalmayıp aynı zamanda toplumun gelişmesine aktif olarak katılmalarını sağlamak için adımlar atılmalıdır. Dünyadaki gelişmelere ayak uydurmak ve geri kalmamak için yeni nesillerin enerjisini kullanabiliriz.
- 5G geliştirmelerinde düşük gecikme bir ilgi noktası olduğundan, video dağıtım sistemlerinin de aynı özelliğe sahip olması beklenmektedir. 5G çözümlerinde gecikme durumu canlı akış kullanım durumları için kabul edilemez ve düşük düzeyi korunmalıdır. Bu nedenle, günümüzün video akış sistemleri geliştirilmeli veya en azından düşük gecikme gereksinimine uyacak şekilde uyarlanmalıdır.
- Video akış sistemlerini geliştirmek için daha uzun vadeli bir bakış açısı, yapay zekanın kullanılması olabilir. Bu çalışmada sunulan kapsamlı değerlendirme, gelecekteki deneyler için kullanıcı davranışı izlerini ve mevcut ağ bant genişliğini anlamamıza yardımcı olabilir.
- Geleceğin 5G ağları, önemli bant genişliği özellikleri gerektiren yeni video formatlarının ortaya çıkışına ayak uydurabilmeli ve kullanıcıların QoE'sini garanti etmek için pragmatik çözümler sunabilmelidir.
- Televizyon yayıncıları da bu yeni ortama uyum sağlamak zorundadır. Yayıncılıkta yeni medya uygulamaları daha çok medya dosyalarının dağıtımı sırasında devreye girmiştir. Yayıncılar internet tabanlı yeni medya kanallarına ulaşmak için sistemlerini harekete geçirmiş ve bazı donanımsal düzenlemeler yapmışlardır. Özellikle web ortamındaki yeni iletişim ortamları doğrultusunda, altyapıları dönüştürülmeli ve yeni medya kanalları ile entegre edilmelidir.

- Sonuç olarak dijital çağ, yeni medya için uygun ortamlar yaratmıştır. Bu ortamlardan iyi bir şekilde yararlanan yeni medya ile coğrafi mesafenin anlamı değişmiş, iletişimin hacmi, miktarı ve hızı artmış, izleyicilere görüş alışverişinde bulunmalarına ve yorum yapmalarına olanak sağlayan interaktif bir yaklaşım sağlanmıştır. Aynı konularla ilgilenen topluluğun parçası olmak için araştırmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Ağırbaşlı, Ş. (2017). Sayısal yayıncılık teknolojilerindeki gelişmeler ve frekans spektrumu kullanımı. RTÜK.

Akar, M. (2017). Sayısal televizyon yayıncılığında sıkıştırma teknolojileri ve uygulamaları. RTÜK.

Alfonso, D., Biffi, B. & Pezzoni, L. (2006). Adaptive GoP size control in H.264/AVC encoding based on scene change detection. IEEE Proceedings of the 7th, 7(9), 86-89.

Altın, A. (2021). Televizyon yayıncılığında yeni trendler: Mobil yayıncılık [Doktora tezi, Marmara Üniversitesi]

Arslan, A. (2007). Genişbant internet protokolü üzerinden internet televizyon (IPTV) hizmetleri, stratejik çıkarımlar ve Türkiye için öneriler. Telekomünikasyon Kurumu.

Arun Kumar P. M. & Chandramathi S. (2014). Video quality assessment methods: A Bird's-eye view. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer and Information Engineering, 8(5), 772-778.

Atatürk Üniversitesi. (t.y.). Televizyon yayıncılığının tarihi.

Azgın, H. (2019). Low energy HEVC and VVC video compression hardware [Doktora tezi, Sabancı Universitesi].

Badic, B., Drewes, C., Karls, I. & Mueck, M. (2016). Rolling out 5G. APress. doi: 10.1007/978-1-4842-1506-7.

Bae, S. H., Kim, J., Cho, S. & Choi, J. S. (2013). Assessments of subjective video quality on HEVC-Encoded 4K-UHD video for beyond-HDTV broadcasting services. IEEE Computer Society (pp. 209-222).

Bale, C. (n.d.). 4K resolution does matter – Here's when. https://carltonbale.com/does-4k-resolution-matter/ Erişim tarihi: 03.08.2022

Ballhaus, W. & Chow, W. (2020). Pulling the future forward: the entertainment and media industry reconfigures amid recovery. Perspectives from the Global Entertainment & Media Outlook 2020–2024. PWC.

BBC. (2019, Eylül). How virtual reality is helping people with dementia. https://www.bbc.com/news/av/business-49654052 Erişim tarihi: 06.05.2022

Benoit, H. (2008). Digital television : satellite, cable, terrestrial, IPTV, mobile TV in the DVB framework. Paris : Focal Press.

Bird, L. (2019). What are SVOD, TVOD, AVOD?. Imagen. https://imagen.io/blog/what-are-svod-tvod-avod/ Erişim tarihi: 01.09.2022

Björkman, P. (2013). The Ultra HD equation. Tech-i, 17, 9.

Bo, W., Zhang, X. & Shiyao, W. (2018). Recording and storage of 4K live program. IEEE Computer Society (pp. 617-621).

Boros, T., Zuraniewski, P., Hindriks, R., Adrichem, N. V., Thomas, E., & D'Acunto, L. (2019). Enabling superior and controllable video streaming QoE with 5G network orchestration. Internet and Networks and Workshops (ICIN) (pp. 124–129).

Boughanja, M. & Tomader, M. (2020). 5G, vehicle to everything communication: opportunities, constraints and future directions. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 5(6), 1089-1095.

Broadband Tv News Correspondent. (2020). Covid-19 pandemic delays 8K TV adoption. https://www.broadbandtvnews.com/2020/11/04/covid-19-pandemic-delays-8k-tv-adoption/ Erişim tarihi: 03.08.2022

Broadband Tv News Correspondent (2021). Telestream in Chinese 8K over 5G test. https://www.broadbandtvnews.com/2021/02/11/telestream-in-chinese-8k-over-5g-test/ Erişim tarihi: 03.08.2022

Brockwell, H. (2016, Nisan). Forgotten genius: the man who made a working VR machine in 1957. Tech Radar. https://www.techradar.com/uk/news/wearables/forgotten-genius-the-man-who-made-a-working-vr-machine-in-1957-1318253/2 Erişim tarihi: 16.05.2022

BTK. (2019). 2019-2023 Stratejik planı. Sektörel Araştırma ve Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı.

BTK. (2022). Bilgi ve iletişim teknolojilerinde gelişmeler, yenilikler ve örnek çalışmalar. Sektörel Araştırma ve Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı.

Burns, R. W. (2000). John Logie Baird: television pioneer. Cornwall: Institution of Electrical Engineers.

Carreira, J., Faria, S. M. M., Tavora, L. M. N., Navarro, A. & Assuncao, P. A. (2020). Versatile video coding of 360° video using adaptive resolution change.

Carrozzo, G., Moscatelli, F., Solsona, G., Gordo, O. P., Keltsch, M. & Schmalohr, M. (2018). Virtual CDNs over 5G networks: scenarios and requirements for ultra-high definition media distribution. EasyChair Preprint, 134.

Cavalier, J. J. (2004). Medya ve iletişim teknolojileri (M. Çamdereli, Çev.). Salyangoz Yayınları.

Chang, T., Sun, Y., Zhu, L. & Lou, Z. (2020). Adaptive resolution change for versatile video coding. Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP).

Chitti, L. S., Vasudha, M., Manoj, P., Hegde,N., Umadi, C. & Abdulhayan, S. (2019). Review on 5G over LTE. Journal of Analog and Digital Devices, Mat Journals, 4(2), 1-7. doi: 10.5281/zenodo.2648956

Cisco. (2019, Temmuz). Cisco ıntelligent peering solution overview. https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/mobile-internet/solution-overview-c22-741941.html Erişim tarihi: 08.04.2022

Cisco. (2020, Mart). Cisco annual ınternet report (2018–2023). White Paper. https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html?dtid=osscdc000283 Erişim tarihi: 08.04.2022

Clover, J. (2020, Ekim). RTVE pilots UHD 8K signal over DVB-T2. Broadbandtvnews. https://www.broadbandtvnews.com/2020/10/23/rtve-pilots-uhd-8k-signal-over-dvb-t2/ Erişim tarihi: 02.05.2022

Clover, J. (2021, Nisan). 8K TV households to reach 72 million in 4 years, despite slow 2020. Broadbandtvnews. https://www.broadbandtvnews.com/2021/04/08/8k-tv-households-to-reach-72-million-in-4-years-despite-slow-2020/ Erişim tarihi: 03.08.2022

Cooper, W. (2022, Mart). DVB-I: Who manages the service lists? https://dvb.org/news/dvb-i-who-manages-the-service-list/ Erişim tarihi: 22.05.2022

Cosmas, J., Meunier, B., Ali, K., Jawad, N., Meng, H.-Y., Goutagneux, F. et al. (2018). 5G internet of radio light services for Musée de la Carte à Jouer. 2018 Global LIFI Congress (pp. 1-6).

Curcio, I. (2022). MPEG's new generation of media standards. Tech-i, 51, 17.

Davidge, J. (2018, Ocak). World's first VR zoo looks to delight animal fans in China.

Doğan, Y. (2021). Mobil haberleşme sistemlerindeki gelişmeler ve bu gelişmelerin yayıncılık sektörü üzerine etkileri. RTÜK.

Drugeon, V. (2022, Mart). New in the DVB codec toolbox: versatile video coding (VVC). DVB-Scene, 59, 6.

DVB. (2011). New DVB-T2 profile: T2-Lite. https://dvb.org/news/new-dvb-t2-profile-t2-lite/ Erişim tarihi: 12.08.2022

DVB. (2018, Mayıs). Demonstrating S2X capabilities for 8K delivery. https://dvb.org/news/demonstrating-s2x-capabilities-for-8k-delivery/ Erişim tarihi: 08.01.2022

DVB. (2021). Harmonizing broadcast TV and cellular: DVB approves commercial requirements for DVB-I over 5G. https://dvb.org/news/harmonizing-broadcast-tv-and-cellular-dvb-approves-commercial-requirements-for-dvb-i-over-5g/ Erişim tarihi: 28.04.2022

DVB. (2021). DVB prepares the way for advanced 4K and 8K broadcast and broadband television. https://dvb.org/news/dvb-prepares-the-way-for-advanced-4k-and-8k-broadcast-and-broadband-television/ Erişim tarihi: 25.05.2022

DVB. (2021). DVB-S2X (second generation satellite extensions). https://dvb.org/?standard=second-generation-framing-structure-channel-coding-and-modulation-systems-for-broadcasting-interactive-services-news-gathering-and-other-broadband-satellite-applications-part-2-dvb-s2-extensions Erişim tarihi: 20.05.2022

DVB. (2022, Şubat). DVB adds VVC to its video coding toolbox. https://dvb.org/news/dvb-adds-vvc-to-its-video-coding-toolbox/ Erişim tarihi: 18.05.2022

DVB. (2022, Kasım). DVB releases first specifications for 8K UHD video service delivery. https://dvb.org/news/dvb-releases-first-specifications-for-8k-uhd-video-service-delivery/ Erişim tarihi: 20.05.2022

EBU. (2021, Kasım). Guidelines for delivering accessibility services using HbbTV.

El-Hajjar, M. & Hanzo, L. (2013). A Survey of digital television broadcast transmission techniques. IEEE Communıcatıons Surveys & Tutorıals.

Engin, M. A. (2010). JPEG standardı ve 3D DCT tabanlı yeni bir imge sıkıştırma metodu [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi].

Erdensoy, D. (2021, Eylül). Content delivery network (CDN) nedir, avantajları nelerdir?. https://www.hosting.com.tr/blog/cdn/ Erişim tarihi: 09.08.2022

Ericsson Mobilite Raporu. (2020, Kasım). https://www.ericsson.com/en/press-releases/2020/11/more-than-1-billion-people-will-have-access-to-5g-coverage-by-the-end-of-2020 Erişim tarihi: 24.05.2022

Eskenazi, A. H. & Perez, E. J. R. (2020). Televisión digital 4K. Revista Telemática.

Faria, G., Henriksson, J. A., Stare, E. & Talmola, P. (2006). DVB-H: digital broadcast services to handheld devices. Proceedings of the IEEE, 94(1), 194-209. doi: 10.1109/JPROC.2005.861011

Fearn, N. (2020). How VR is helping visually impaired patients regain close to normal levels of sight. Forbes. https://www.forbes.com/sites/nicholasfearn/2020/01/08/how-vr-is-helping-visually-impaired-patients-regain-close-to-normal-levels-of-sight/?sh=632d5d856027 Erişim tarihi: 02.05.2022

Fischer, W. (2010). Digital video and audio broadcasting technology, a practical engineering. Springer.

Galis, A. & Chih-Lin, I. (2017). Towards 5G network slicing - motivations and challenges. IEEE 5G Tech Focus, 1(1).

Garcia, D. S. (2017). Estado actual de la televisión en ultra alta definición - UHDTV Transmisión Vía Terrestre [Tesis de Ingeniero en Telecomunicaciones, Universidad Nacional Autónma de México]

Garro, E., Fuentes, M., Carcel, J. L., Chen, H., Mi, D., Tesema, F. et al. (2020, Haziran). 5G mixed mode: NR multicast-broadcast services. IEEE Transactions on Broadcasting. doi: 10.1109/TBC.2020.2977538.

Ge, C., Wang, N., Selinis, I., Cahill, J., Kavanagh, M., Liolis, K. et al. (2019). QoE-Assured live streaming via satellite backhaul in 5G networks. IEEE Transactions On Broadcasting.

Goto, T., Fukuoka, T., Nagashima, F., Hirano, S. & Sakurai, M. (2014). Super-Resolution system for 4K-HDTV. IEEE Computer Society (pp. 4453-4458).

Greengrass, J., Eyans, J. & Begen, A. C. (2009). Not all packets are equal, the impact of network packet loss on video quality. IEEE Internet Computing.

Herbert, S. (2004). A History of early TV. Taylor and Francis.

Hernández, D. C. (2021). Using 5G network slicing to create new public service opportunities. Tech-i, 50, 6.

Hiemstra, M. J. (2021). Difference between unicast vs. multicast. https://www.haivision.com/blog/broadcast-video/difference-between-unicast-vs-multicast Erişim tarihi: 21.04.2022

Hu, F., Yansha, D., Walid, S. & Mehdi, B. (2020, Mayıs). Cellular-connected wireless virtual reality: requirements, challenges, and solutions. IEEE Communications Magazine 58(5), 105-111. doi: 10.1109/MCOM.001.1900511

Hur, J. (n.d.). History of the television. https://bebusinessed.com/history/history-of-the-television/ Erişim tarihi: 15.11.2021

IOC. (2019, Eylül). Intel technology set to deliver several innovations during Tokyo 2020. https://olympics.com/ioc/news/intel-technology-set-to-deliver-several-innovations-during-tokyo-2020 Erişim tarihi: 18.05.2022

Intel. (2021). VR vs. AR vs. MR: what you need to know. https://www.intel.com/content/www/us/en/tech-tips-and-tricks/virtual-reality-vs-augmented-reality.html Erişim tarihi: 13.09.2022

İlhan, V. & Bağcı, C. (2016). Türkiye'de sayısal televizyon yayıncılığının sektörel görünümü ve yönelimleri sonuç raporu.

İnce, Ü., F. (2010). IPTV servisinde video kalitesi kriterleri ve görüntü bozukluklarının giderilmesi [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi].

Jain, S & Chavda, S. (2016). 5G – The next generation mobile radio communication. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering, 11(3), 80-85. doi: 10.9790/7388-1103018085

Johnson, J. (2019). VOD vs OTT: What's the difference? https://www.uscreen.tv/blog/vod-vs-ott-whats-the-difference Erişim tarihi: 16.02.2022

Kachhavay, M. G., Thakare, A. P. (2014). 5G technology-evolution and revolution. International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 3(3), 1080-1087.

Kalalı, E. (2018). Low energy video processing and compression hardware designs [Doktora tezi, Sabancı Universitesi].

Kekki, S., Featherstone, W., Fang, Y., Kuure, P., Li, A., Ranjan, A. et al. (2018). MEC in 5G networks. ETSI White Paper No. 28.

Klepacki, M. (2021). Successful trial of 4K over DVB-T2/HEVC for TVP during Euro 2020. DVB Scene, 58, 10.

Kohli, S., Timelin, B., Fabius, Victor. & Veranen, S. M. (2020, Haziran). How COVID-19 is changing consumer behavior – now and forever. McKinsey&Company.

Köse, A. H. (2011). Gelişen TV teknolojileri çerçevesinde, yerel televizyonlar ve sayısal yayıncılık [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi]

Lacaud, M. (2020, Kasım). Towards pragmatic solutions to improve the quality of video streaming in current and future networks [Docteur De L'unıversıté De Bordeaux].

Lanigan, P. (2021, Şubat). DVB-I and DVB-TA overview. DVB, DVB Content Delivery Technologies. https://www.hbbtv.org/wp-content/uploads/2021/02/DVB-I-introduction-HbbTV-February-2021.pdf Erişim tarihi: 20.04.2022

Lopez, J. P., Jimenez, D., Rodrigo, J. A., Menendez, J. M., Álvarez, F., Sanchez, N. et al. (2018). Virtualized module for distributed quality assessment applied to video streaming in 5G networks environments. EasyChair Preprint, 310.

Mangiante, S. (2017). VR is on the edge: how to deliver 360° videos in mobile networks. Workshop on Virtual Reality and Augmented Reality Network.

Mastriani, M. (2010). Supercompression for Full-HD and 4K-3D (8K) digital TV systems. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering, 4, 12.

McGiffin M. & Ortiz, A. (2020). How extended reality will reshape commerce. IBM.

McLean, H. (2020, Nisan). BT sport radicalises channel operation with decentralised remote production**.** SVG Europe. https://www.svgeurope.org/blog/headlines/bt-sport-radicalises-entire-channel-production-with-decentralised-remote-production-operation/ Erişim Tarihi: 10.05.2022

Meier, D. (2022, Şubat). 5G consortium explores edge computing for 4K UHD content. TVBEurope. https://www.tvbeurope.com/media-delivery/5g-consortium-explores-edge-computing-for-4k-uhd-content Erişim Tarihi: 16.06.2022

Merkel, K. (2022). HbbTV – a major tool for accessibility. Tech-i, 51, 13.

Milanesio, D. (2021). DVB-HB: an in-home bridge from broadcast to IP. DVB Scene, 57, 16.

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

Morrison, G. (2016, Eylül). How HDR Works?. CNET. https://www.cnet.com/tech/home-entertainment/how-hdr-works/ Erişim Tarihi: 03.08.2022

Morrison, G. (2019, Kasım). What is OLED and what can it do for your TV?. CNET. https://www.cnet.com/tech/home-entertainment/what-is-oled-and-what-can-it-do-for-your-tv/ Erişim Tarihi: 03.08.2022

Morrison, G. (2021, Ekim). LCD vs. OLED: TV display technologies compared. CNET. https://www.cnet.com/tech/home-entertainment/led-lcd-vs-oled/ Erişim Tarihi: 03.08.2022

Nackaerts, A. (2022, Mart). The Metaverse: much more than meets the eye. DVB Scene, 59, 15.

Nunes, B. A. A., Mendonca, M., Nguyen, X., Obraczka, K., & Turletti, T. (2014). A Survey of software-defined networking: past, present, and future of programmable networks. IEEE Communications Surveys Tutorials, 16(3), 1617-1634.

OFCOM. (2021, Eylül). Object-based media report. Macroblock Ltd. and the School of Digital Arts.

Outters, J. & Power, J. (2021). Why specify new video codecs in DVB?, DVB Scene, 57, 8.

Parlak, M. (2009). Low power H.264 video compression hardware designs [Doktora tezi, Sabancı Üniversitesi].

Pérez, J. S. (2022). Automatic monitoring of perceived quality for audiovisual content. Tech-i, 51, 8.

Peters, J. J. (2000). A History of television. EBU.

Petrov, V., Gapeyenko, M., Paris, S., Marcano, A. & Pedersen, K. I. (in press). Standardization of extended reality (XR) over 5G and 5G-advanced 3GPP new radio. IEEE.

Power, J. (2021). New video codecs for DVB services: fast-forward to 2024. DVB Scene, 58, 8.

Priestley, J. (2020, Mart). Going beyond 5G. https://www.tvbeurope.com/features/going-beyond-5g Erişim Tarihi: 19.05.2022

Priestley, J. (2020, Aralık). Sky, Vodafone test live Bundesliga coverage over 5G. TVBEurope. https://www.tvbeurope.com/media-delivery/sky-vodafone-test-5g-live-bundesliga-coverage-over-5g Erişim Tarihi: 07.06.2022

Priestley, J. (2022, Ocak). The future of 5G in the video industry. TVBEurope. https://www.tvbeurope.com/media-delivery/the-future-of-5g-in-the-video-industry Erişim Tarihi: 19.07.2022

Priestley, J. (2022, Mart). Netflix approves use of Sony Venice 2 8K camera. https://www.tvbeurope.com/production-post/netflix-approves-use-of-sony-venice-2-8k-camera Erişim Tarihi: 02.08.2022

Priestley, J. (2022, Nisan). Germany's Bundesliga scores with personalised interactive feed driven by AWS. https://www.tvbeurope.com/media-delivery/germanys-bundesliga-scores-with-personalised-interactive-feed-driven-by-aws Erişim Tarihi: 02.08.2022

Priestley, J. (2022, Mayıs). LiveU tests 5G network slicing for remote production. TVBEurope. https://www.tvbeurope.com/media-delivery/liveu-tests-5g-network-slicing-for-remote-production Erişim Tarihi: 19.07.2022

Priestley, J. (2022, Haziran). Ateme debuts 5G streaming solution. TVBEurope. https://www.tvbeurope.com/media-delivery/ateme-debuts-5g-streaming-solution Erişim Tarihi: 16.06.2022

Priestley, J. (2022, Haziran). Felix & Paul Studios to capture Artemis I launch in 8K, 360-degree virtual reality. https://www.tvbeurope.com/live-production/felix-paul-studios-to-capture-artemis-i-launch-in-8k-360-degree-virtual-reality Erişim Tarihi: 21.07.2022

Priestley, J. (2022, Temmuz). Apple 'preparing to support AV1'. https://www.tvbeurope.com/media-delivery/apple-preparing-to-support-av1 Erişim Tarihi: 21.07.2022

Priestley, J. (2022, Temmuz). DVB project adds AVS3 codec to video coding specification. https://www.tvbeurope.com/media-management/dvb-project-adds-avs3-codec-to-video-coding-specification Erişim Tarihi: 21.07.2022

Pruitt, S. (2021, Haziran). Who invented television?. https://www.history.com/news/who-invented-television Erişim Tarihi: 16.11.2021

Punchihewa, A. (2011). Tutorial on digital terrestrial television broadcasting. School of Engineering and Advanced Technology Massey University.

Roettgers, J. (2019, Ekim). How Nexus Studios plans to bring augmented reality to entertainment venues. Variety. https://variety.com/2019/digital/news/locatio-based-ar-nexus-studios-1203389590/ Erişim Tarihi: 16.05.2022

RTÜK (2006). Karasal sayısal televizyon ulusal frekans planı.

Saunders, S. (2021). Technology futures. OFCOM.

Salmon, R., Borer, T., Pindoria, M., Price, M., & Sheikh, A. (2014, Mayıs). Higher frame rates for television. SMPTE Motion Imaging Journal.

Serie A. (2022). The Metaverse experience. https://metaverse.legaseriea.it 02.08.2022

Shaikh, H. (2020, Nisan). Extended Reality (XR): A Sneak peek into an alternate reality. https://martechlive.com/extended-reality/ Erişim Tarihi: 13.09.2022

Shamaya, H. J. Y. (2014, Temmuz). Investigation of resource usage and video quality with different formats in video broadcasting [Yüksek lisans tezi, Çankaya Universitesi].

Sharad, J. & Chavda, S. (2016). 5G - the next generation mobile radio communication. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering, 11(3), 80-85.

Shiers, G. (2014). Early television: a bibliographic guide to 1940. Routledge.

Shoewu O.O., Ayangbekun O. J. & Edozie R. (2020). Survey of development trends in 5G mobile wireless networks. Journal of Advancement in Engineerıng and Technology, 7(4).

Sony. (2021, Aralık). What are the NTSC, PAL, and SECAM video format standards? https://www.sony.com/electronics/support/articles/00006681 Erişim Tarihi: 19.01.2022

Şahin, B. (2013). Televizyon için yeni yayın teknolojileri ve IPTV [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi].

Şenol, E. (2019). HEVC formatlı çok-bakışlı videolarda otostereoskopik 3DTVler için algısal kaliteyi etkileyen faktörlerin incelenmesi [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi].

Taga, M. A. (2022). 5G broadcast – where does it stand?. DVB Webinar: TV over 5G – Bridging the gap with DVB-I.

TCL. (2020, Aralık). 4K vs 8K | what difference does an 8K TV make? https://www.tcl.com/au/en/blogs/4k-vs-8k.html Erişim Tarihi: 08.08.2022

Tektronix (2009). Guide to standard HD digital video measurements.

Thomas, G., Gibson, J., Burlington, T. & Weir, B. (2019). 5G smart tourism trial at the roman baths. BBC. https://www.bbc.co.uk/rd/blog/2019-02-5g-mobile-augmented-reality-bath Erişim tarihi: 15.06.2022

Tooms, M. S. (2016). Colour reproduction in electronic imaging systems: photography, television, cinematography. John Wiley and Sons.

Trundle, E. (2001). Television and video technology. Newnes: Oxford (pp. 43-45).

TVBEurope. (2022, Haziran). The Challenge of low-latency. https://www.tvbeurope.com/media-management/the-challenge-of-low-latency Erişim Tarihi: 16.06.2022

TVBEurope. (2022, Temmuz). The Metaverse and the forgotten value of video. https://www.tvbeurope.com/features/opinion-features-2/the-metaverse-and-the-forgotten-value-of-video Erişim Tarihi: 21.07.2022

Ünal, R. (2012). Mobil video haber servisleri. Anahtar Yayınları.

Vella, H. (2022, Şubat). 5G vs 4G: What is the difference? Raconteur. https://www.raconteur.net/technology/5g/4g-vs-5g-mobile-technology/ Erişim Tarihi: 09.04.2022

Video Clarity. (n.d.). Analyzing 4K video quality. https://videoclarity.com/PDF/Analyzing_4K_Video_Quality_white_paper.pdf?4469f3&4469f3 Erişim Tarihi: 15.07.2022

Vlasova, H. (2020, Eylül). The Future of VR & AR in education. https://www.gettingsmart.com/2020/09/12/the-future-of-vr-ar-in-education/ Erişim Tarihi: 26.04.2022

Vodafone. (2022). Vodafone 5G. https://www.vodafone.com.tr/5g Erişim Tarihi: 20.12.2021

Vodlix. (2020). VOD. https://vodlix.com/difference-between-vod-and-ott-and-theterms-svod-avod-tvod Erişim Tarihi: 21.12.2021

Watkinson, J. (2004). The MPEG handbook. Focal Press (pp. 1-28).

Whitaker, J. (2003). Standard handbook of video and television engineering. McGraw-Hill Companies.

Wikipedia. (2022). DVB-T2. https://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T2 Erişim Tarihi: 10.04.2022

Wilson, M. (2020, Ocak). How TVs have changed through the decades. https://www.insider.com/the-evolution-of-tvs-through-the-decades#a-few-short-years-later-4k-flat-screens-are-obsolete-with-the-introduction-of-8k-resolution-19 Erişim Tarihi: 15.10.2021

Xingqin, L. & Namyoon, L. (2021). 5G and beyond. Springer. doi:10.1007/978-3-030-58197-8

Yuste, L. B. & Montagud, M. (2015). Understanding timelines within MPEG standards. IEEE Communicatıons Surveys & Tutorials. doi: 10.1109/COMST.2015.2488483

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Hazal ZORAL GEMALMAZOĞLU

E-Posta Adresi : hazalzoral@rtuk.gov.tr

İş Deneyimi :

Unvan	**Görev Yeri**	**Yıl**
Üst Kurul Uzman Yardımcısı	RTÜK	2019 - …

Akademik Bilgiler

Öğrenim Durumu:

Derece	**Bölüm/Program**	**Üniversite**	**Yıl**
2.84	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2012-2017

RTÜK