T.C.
RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU

RADYO VE TELEVİZYON YAYINCILIĞINDA ANTEN SİSTEMLERİ VE 5.NESİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN MIMO ANTEN TEKNOLOJİSİ

UZMANLIK TEZİ

SEMA KOTAN

ANKARA
AĞUSTOS, 2024


RTÜK
RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU

T.C.

RADYO VE TELEVİZYON ÜST KURULU

RADYO VE TELEVİZYON YAYINCILIĞINDA ANTEN SİSTEMLERİ VE 5.NESİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN MIMO ANTEN TEKNOLOJİSİ

UZMANLIK TEZİ

SEMA KOTAN

DANIŞMAN: DAİRE BAŞKAN YARDIMCISI VEKİLİ ALİ SARI

ANKARA

AĞUSTOS, 2024

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Başkanlığına,

Sema Kotan adlı Üst Kurul Uzman Yardımcısının hazırladığı “Radyo ve Televizyon Yayıncılığında Anten Sistemleri ve 5.Nesil Haberleşme Sistemleri İçin MIMO Anten Teknolojisi ” 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	Deniz GÜLER Üst Kurul Başkan Yardımcısı	……..
Üye	Murat ELLİALTI Daire Başkanı	……..
Üye	Ali SARI Daire Başkan Yardımcısı Vekili (Tez Danışmanı)	……..

ONAY

Bu tez Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Uzmanlığı Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca 09/08/2024 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. 09/08/2024

Sema KOTAN

Üst Kurul Uzman Yardımcısı

TEŞEKKÜR

"Radyo ve Televizyon Yayıncılığında Anten Sistemleri ve 5.Nesil Haberleşme Sistemleri İçin MIMO Anten Teknolojisi" isimli bu tezin hazırlanması sürecinde; Sayın Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Başkanı Ebubekir ŞAHİN ile Üst Kurul Üyelerine, Üst Kurul Başkan Yardımcısı Sayın Deniz Güler'e, desteklerinden dolayı İstanbul Bölge Temsilcisi Sayın Murat ARSLAN'a, tez çalışması boyunca yardımını esirgemeyen tez danışmanım Daire Başkan Yardımcısı Vekili Sayın Ali SARl'ya ve maddi, manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

RADYO VE TELEVİZYON YAYINCILIĞINDA ANTEN SİSTEMLERİ VE 5.NESİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN MIMO ANTEN TEKNOLOJİSİ

KOTAN, Sema
Uzmanlık Tezi
Tez Danışmanı: Daire Başkan Yardımcısı Vekili Ali SARI
Ağustos, 2024, 120

İnsanlık tarihiyle başlayan haberleşme ihtiyacı gün geçtikçe büyük bir gelişim göstermiştir. Yakın mesafe iletişimin yerini kitle iletişim araçlarının alması ile birlikte radyo ve televizyon yayıncılığında yenilikler ve iyileşmeler gerçekleşmiştir. Zaman içerisinde yayıncılıkta kullanılan vericiler ve anten yapılarının güncellenmesi ve gelişen teknolojilere ayak uydurması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Elektromanyetik dalgaların yayılımından itibaren başlanılarak anten kavramı temel parametreleri de dahil olmak üzere ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Antenlerde kullanılan en önemli sistemlerden biri ortak anten sistemleridir. Ortak anten sistemlerinin Türkiye'deki önemli örneği Çamlıca Kulesi yerinde incelenerek incelemeler aktarılmıştır.

Tarihsel süreçte ses odaklı başlayan kablosuz haberleşme teknolojisine yönelik taleplerin artması, yüksek kalite ve veri hızı gibi ihtiyaçlar sebebiyle bahsi geçen teknoloji hızla gelişim göstermiştir. Birinci nesil (1G- 1st Generation) mobil haberleşme sistemleri ile başlayan mobil haberleşme kavramı beşinci nesil (5G- 5th Generation) mobil haberleşme sistemlerine gelindiğinde çok yüksek hız ve mevcut bant genişliğinin etkin kullanımı özelliklerine ulaşmıştır. Sağlık, tarım, otomotiv ve yayıncılık olmak üzere birçok sosyal alanda kullanıma uygun olan 5G ile birlikte nesnelerin interneti (IoT- Internet of Things), bulut bilişim, yapay zeka gibi kavramlarda hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. Anten sistemleriyle 5G'nin entegrasyonunda ise karşımıza çok girişe karşılık çoklu çıkış (MIMO- Multiple Input Multiple Output) anten sistemleri çıkmaktadır. MIMO'nun çeşitleri, haberleşme üzerindeki olumlu ve olumsuz tüm etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Anten, 5G, Kablosuz Haberleşme, MIMO.

ABSTRACT

ANTENNA SYSTEMS FOR RADIO AND TELEVISION BROADCASTING AND MIMO ANTENNA TECHNOLOGY FOR 5G COMMUNICATION SYSTEMS

KOTAN, Sema
Specialization Thesis
Thesis Advisor: Actıng Vıce Chaırman Of The Department Ali SARI
Aug, 2024, 120

The need for communication, which began with human history, has shown significant development over time. With the transition from close-range communication to mass communication, innovations and improvements have occurred in radio and television broadcasting. The necessity of updating and adapting the transmitters and antenna structures used in broadcasting to evolving technologies has emerged over time. Starting from the propagation of electromagnetic waves, the concept of antennas, including their basic parameters, has been examined in detail. One of the most important systems used in antennas is shared antenna systems. Investigations have been carried out by examining the Çamlıca Tower, an important example of shared antenna systems in Turkey. With the increasing demand for wireless communication technology that initially focused on voice in the historical process, the mentioned technology has rapidly developed due to needs such as high quality and data speed. The concept of mobile communication, which started with first-generation (1G) mobile communication systems, has reached features such as very high speed and efficient use of available bandwidth with the fifth generation (5G) mobile communication systems. With 5G, which is suitable for use in many social areas such as health, agriculture, automotive, and broadcasting, concepts such as the Internet of Things (IoT), cloud computing, and artificial intelligence have become part of our lives. In the integration of antenna systems with 5G, we encounter Multiple Input Multiple Output (MIMO) antenna systems, which correspond to multiple inputs and multiple outputs. The varieties of MIMO and all the positive and negative effects on communication have been evaluated.

Keywords: Antenna, 5G, Wireless Communication, MIMO.

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR/SİMGELER xi
ŞEKİLLER xiv
BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1
Problem 1
Amaç 1
Önem 2
Sınırlılıklar 2
Tanımlar 3
BÖLÜM 2 4
YÖNTEM 4
2.1 Araştırmanın Modeli 4
2.2 Verilerin Toplanması 4
2.3 Verilerin Çözümlenmesi 4
BÖLÜM 3 5
RADYO VE TELEVİZYON YAYINCILIĞI TEMELİNDE İLETİŞİM 5
3.1. Haberleşme Kavramı 5
3.2. Kitle İletişim Kavramı 6
3.3. Yayın Kavramı 6
3.3.1. Radyo Yayını Tarihçesi 6
3.3.1.1. Radyolarda Alıcı-Verici Sistemleri 8
3.3.2. Televizyon Yayını Tarihçesi 13
3.3.2.1. Televizyonda Alıcı-Verici Sistemleri 14
BÖLÜM 4 16
RADYO VE TELEVİZYON YAYINCILIĞINDA ANTEN SİSTEMLERİ 16
4.1. Antenlerin Tarihçesi 16
4.2. Antenlerin Eş Değer Devre Yapıları 19

4.3. Temel Anten Parametreleri 22
4.3.1. Işıma Deseni 22
4.3.1.1. Işıma Modeli Lobları 24
4.3.2. Anten Alan Bölgeleri 25
4.3.3. Anten Yönlülüğü 26
4.3.4. Anten Polarizasyonu 26
4.3.5. Bant Genişliği 27
4.3.6. Hüzme Genişliği 28
4.3.7. Voltaj Duran Dalga Oranı (VSWR) 29
4.3.8. Anten Verimliliği 30
4.3.9. Kazanç 30
4.4. Anten Çeşitleri 31
4.4.1. Temel Anten Çeşitleri 31
4.4.1.1. Tel Antenler 31
4.4.1.2. Dipol Antenler 31
4.4.1.3. Monopol Antenler 32
4.4.1.4. Döngü Antenleri 33
4.4.2. Özel Yapı ve Özelliklere Sahip Anten Çeşitleri 33
4.4.2.1. Açıklık Antenler 33
4.4.2.2. Reflektör (Yanstıcı) Antenler 34
4.4.2.3. Mercek Antenler 34
4.4.2.4. Mikroşerit Antenler 35
4.4.2.5. Horn Antenler 36
4.4.3. Çoklu Eleman veya Dizi Yapısına Sahip Anten Çeşitleri 36
4.4.3.1. Dizi Antenler 36
4.3.3.2. Yagi – Uda Antenler 37
4.5. Anten Uygulamaları 38
4.5.1. Haberleşme Sistemlerindeki Antenler 38
4.5.1.1. Doğrudan Linkler 38
4.5.1.2. Uydu Haberleşmesinde Anten Sistemleri 38
4.5.1.3. Yayın Anten Sistemleri 40
4.5.1.3.1. Filtreler 40
4.5.1.3.2. Birleştiriciler 42
4.5.1.3.3. Besleme Hatları 45

4.5.1.3.4. Güç Ayırıcılar ve Ölçüm Bağlantıları 45
4.5.1.3.5. Dehidratörler 45
4.5.1.3.6. Dünya ve Türkiye'deki Ortak Anten Sistemi Örnekleri 45
BÖLÜM 5 51
MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ 51
5.1. Birinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (1st Generatıon - 1G) 52
5.2. İkinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (2nd Generatıon - 2G) 53
5.3. Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (3rd Generatıon - 3G) 55
5.4. Dördüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (4th Generatıon - 4G) 55
5.5. Beşinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (5th Generatıon – 5G) 56
5.5.1. 5G ile Diğer Haberleşme Sistemlerinin Karşılaştırılması 57
5.5.2. 5G İle Bağlantılı Kavramlar 59
5.5.2.1. Uç Bilişim 60
5.5.2.2. Ağ Dilimleme 60
5.5.2.3. Endüstri 4.0 60
5.5.2.4. IoT 60
5.5.2.5. Bulut Bilişim 61
5.5.2.6. Büyük Veri 62
5.5.2.7. Makine Öğrenmesi & Yapay Zeka 63
5.5.2.8. Artırılmış Gerçeklik Ve Sanal Gerçeklik (AR/VR) 64
5.5.3. 5G Hizmetleri ve Uygulamaları 64
5.5.3.1. Otomotiv 64
5.5.3.2. Sağlık 67
5.5.3.3. Medya ve Yayıncılık 67
5.5.3.3.1. 5G'nin TV Yayıncılığı Üzerindeki Etkileri 68
5.5.3.3.2. 5G'nin Radyo Yayıncılığı Üzerindeki Etkileri 69
5.5.3.4. Tarım 71
5.5.3.4.1. Sulama Sistemlerinde Otomasyon 71
5.5.3.4.2. Akıllı Seralar 72
5.5.4. 5G Teknolojileri 72
5.5.4.1. Beamforming 72
5.5.4.2. Milimetre Dalga Frekansları (mmWave) 73
BÖLÜM 6 75
MIMO ANTEN 75

6.1 Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Anten Konfigürasyonları 75
6.1.1. SISO 75
6.1.2. SIMO 77
6.1.3. MISO 78
6.1.4. MIMO 79
6.1.4.1. MIMO Kanal Kapasitesi 82
6.1.4.2. MIMO Çeşitleme Teknikleri 84
6.1.4.2.1. Zaman Çeşitlemesi 85
6.1.4.2.2. Frekans Çeşitlemesi 85
6.1.4.3. MIMO Uyumlu Kablosuz İletişim Standartları 86
6.1.4.3.1. LTE 86
6.1.4.3.2. Wimax 86
6.1.4.3.1. WLAN (Wireless Local Area Network) 87
6.1.4.4. MIMO Çeşitleri 87
6.1.4.4.1. MU-MIMO 87
6.1.4.4.1. Kapsamlı MIMO 88
BÖLÜM 7 90
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 90
Sonuçlar 90
Öneriler 91
KAYNAKLAR 93
ÖZGEÇMİŞ 101

KISALTMALAR/SİMGELER

Kısaltma	Açıklama
1G	1st Generation
2G	2nd Generation
3G	3rd Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4th Generation
5G	5th Generation
6G	6th Generation
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AM	Amplitude Modulation
AMPS	Advanced Mobile Phone System
BDMA	Band Division Multiple Access
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CDMA	Code division multiple Access
DAB	Digital Audio Broadcasting
dB	Decibel
DSRC	Dedicated short-range communications
ELF	Extremely Low Frequency
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequency Modulation
FNBW	First Null Beamwidth
GHz	Gigahertz
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HD	High Definition
HPBW	Half Power Beamwidth
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-

	2000
IoT	Internet of Things
IPTV	Internet Protocol Television
ITU	International Telecommunication Union
Jpeg	Joint Photographic Experts Group
JTACS	Japan Total Access Communication System
kbps	Kilobit Per Second
kHz	Kilohertz
kW	Kilowatt
LIDAR	Light Detection and Ranging - Laser Imaging Detection and Ranging
LTE	Long Term Evolution
MHz	Megahertz
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple-Input-Single-Output
MMS	Multimedia Messaging Service
MU-MIMO	Multi-User Multiple Input Multiple Output
n.d.	No date
NMT	Nordic Mobile Telephone
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RADAR	Radio Detection and Ranging
RF	Radio Frequency
RTÜK	Radyo ve Televizyon Üst Kurulu
SIMO	Single-Input-Multiple-Output
SISO	Single-Input-Single-Output
SMS	Standart Definition
SMS	Short Message Service
SNR	Signal-to-Noise Ratio
t.y.	Tarih Yok

TACS	Total Access Communication System
TDMA	Time Division Multiple Access
TRT	Türkiye Radyo ve Televizyon
TV	Televizyon
UHF	Ultra High Frequency
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access
Vd.	Ve diğeri
VHF	Very High Frequency
VR	Virtual Reality
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
WAP	Wireless Application Protocol
Web	World Wide Web
Wİ-Fİ	Wireless Fidelity
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WRC	World Radiocommunication Conference

ŞEKİLLER

Şekil 1 Dumanla Haberleşen Kızıldereliler 5
Şekil 2 Modülasyon Blok Şeması 9
Şekil 3 Analog Sinyallere Ait Teknik Terim Gösterimi 10
Şekil 4 Analog Sinyal Oluşumuna Ait Matlab Kodu 10
Şekil 5 Analog Sinyal Oluşumuna Ait Yazılım Çıktısı 11
Şekil 7 Dijital Sinyal Oluşumuna Ait Yazılım Çıktısı 12
Şekil 8 FM Verici Sistemleri 13
Şekil 9 10 Temmuz 1952 Tarihli Cumhuriyet Gazetesi 14
Şekil 10 Maxwell Denklemleri 17
Şekil 11 Kapalı Yüzeyin İçinden Geçen Elektrik Alan Akısı Hesabı Matlab Çıktısı 18
Şekil 12 Değişim Aygıtı Olarak Anten 20
Şekil 13 Antenin Verici Eş Değer Devresi 21
Şekil 14 Antenin Alıcı Eş Değer Devresi 21
Şekil 15 Anten Analizi İçin Koordinat Sistemi 23
Şekil 16 İzotropik Anten Işıma Paterni 23
Şekil 17 Işıma Diyagramı 24
Şekil 18 Antenin Alan Bölgeleri 25
Şekil 19 Doğrusal Polarizasyon 27
Şekil 20 Dairesel Polarizasyon 27
Şekil 21 Bant Genişliği Gösterimi 28
Şekil 22 FNBW ve HPBW Işıma Deseni Üzerinde Gösterimi 29
Şekil 23 Dipol Anten 32
Şekil 24 Parabolik Reflektör Antenin Temel Kısımları 34
Şekil 25 Mikroşerit Antenlerin Genel Yapısı 35
Şekil 26 Yagi Anten Yapısı 37
Şekil 27 Uydu Haberleşmesinde Antenlerin Fonksiyonel Gösterimi 39
Şekil 28 Yayın Anten Sistemi Bileşenleri 40
Şekil 29 Bant Durduran Filtre Kazanç- Frekans Eğrisi 42
Şekil 30 FM Birleştirici Sistemi 43
Şekil 31 FM Yönlü Filtre Tipi Birleştirici Sistemi 43

Şekil 32 FM Star Tipi Birleştirici Sistemi 44
Şekil 33 Çamlıca Kulesi Teknik Özellikleri 47
Şekil 34 Çamlıca Kulesi Öncesi ve Sonrası İstanbul Silüeti 48
Şekil 35 Tokyo Skytree 49
Şekil 36 1G ile 6.Nesil (6G- 6th Generation) Arası Kablosuz Haberleşme Evrimi 51
Şekil 37 1G Teknolojisinin Teknik Özellikleri 53
Şekil 38 2G Teknolojisinin Teknik Özellikleri 54
Şekil 39 1G ile 5G'nin Karşılaştırılması 57
Şekil 40 2G İle 5G'nin Karşılaştırılması 58
Şekil 41 3G İle 5G'nin Karşılaştırılması 58
Şekil 42 4G İle 5G'nin Karşılaştırılması 59
Şekil 43 IoT Kavramsal İlişkisi 61
Şekil 44 Bulut Bilişimin Yapısı 62
Şekil 45 Sanal Gerçeklik 64
Şekil 46 Bağlı Araç Örneği 65
Şekil 47 Otonom Araç Algılama Teknolojileri 66
Şekil 48 Sulama Sistem Şeması 72
Şekil 49 Kablosuz Haberleşmede Beamforming 73
Şekil 50 Milimetre Dalgada Frekans Aralığı 74
Şekil 51 Farklı Anten Konfigürasyonları 75
Şekil 52 SISO Haberleşme Sistemi 76
Şekil 53 SISO Anten Kapasitesi Hesabı 76
Şekil 54 SIMO Haberleşme Sistemi 77
Şekil 55 SIMO Kapasite Hesabı 78
Şekil 56 MISO Haberleşme Sistemi 78
Şekil 57 MISO Kapasite Hesabı 79
Şekil 58 MIMO Sistemi 80
Şekil 59 MIMO Kapasite Hesabı Karşılaştırmalı Matlab Kodu 83
Şekil 60 MIMO Kapasite Hesabı Karşılaştırmalı Kodun Yazılım Çıktısı 84
Şekil 61 Çeşitleme Senaryosu 84
Şekil 62 Kapsamlı MIMO Anten 88

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Tezin giriş bölümünde problem, amaç, önem, sınırlılıklar ve tanımlar başlıkları aktarılacaktır.

Problem

Teknolojinin getirileriyle beraber kablosuz haberleşmeye olan talep artmıştır. Kablosuz iletişim sistemleri bu talebi karşılamak için durmaksızın gelişmektedir. Haberleşme sisteminde meydana gelen her yenilik hızlı veri akışı, geniş kapsama alanı, güvenilirlik, düşük güç tüketimi, düşük gecikme süresi gibi özellikleri içinde barındırmalıdır. Fakat kullanıcı sayısındaki artış, yüksek veri talebi, frekans sıkışıklığı gibi etkenler kablosuz iletişim sistemlerinin performansını zorlamaktadır. Bu bağlamda anten sistemleri ve 5G teknolojisinde etkili olan MIMO anten teknolojisi dezavantajları avantaja çevirebilecek yetidedir.

MIMO yapısında bulunan birden fazla anten, iletişimin verimliliğini geleneksel anten yapısına göre büyük ölçüde artırır. MIMO teknolojisi eş zamanlı çoklu veri akışını sağlar ve kanal kapasitesini artırır. Ancak MIMO sisteminin karmaşıklığını gidermek için teknik zorluklar aşılmalıdır. Bu tez içerisinde anten sistemlerine genel bir bakış sağlanarak kablosuz iletişim sistemlerinin performansı ile MIMO anten teknolojisi incelenecektir.

Amaç

Söz konusu bu tezin genel amacı, radyo ve televizyon yayıncılığında etkili anten sistemlerini çeşitli açılardan inceleyerek mobil haberleşme teknolojisinin evrim süreci içerisinde yeni anten teknolojisi olarak ortaya çıkan MIMO anteni ayrıntılı ele almaktır. Anten sistemleriyle alakalı kapsamlı bir kaynak elde etmek amaçlanmaktadır. Bahsedilen genel amaca ulaşmak için hedeflenen alt amaçlar şu şekildedir.

- Kitle iletişim terimi itibariyle televizyon ve radyo yayıncılığının tarihsel gelişimini kavramak;
- Elektromanyetik dalgaları almak ve bu dalgaları aktarmak görevini üstlenen anten sistemlerinin mevcut durumunu önemli anten parametreleri ile beraber incelemek;
- Ortak anten sistemleri dahil olmak üzere anten çeşitlerini farklı yönleri ile anlamlandırmak;
- Teknolojinin getirileriyle beraber kablosuz haberleşme sistemlerinde gerçekleşen yenilikleri tespit etmek;
- Kablosuz haberleşme sistemlerinin tarihsel ilerleyişine değinerek özellikle 5G'nin kazandırdığı yeni teknolojileri değerlendirmek;
- 5G'nin MIMO anten sistemi ile olan bağlantısını açıklamak;
- MIMO anten sisteminin çeşitlerini, avantajlarını ve dezavantajlarını belirtmek;
- Yapılan araştırmalar sonucunda, benzer konulara yönelik çalışma yapacak olan araştırmacılara önerilerde bulunmak tezin alt amaçları olarak sayılabilir.

Önem

Tez içerisinde, radyo ve televizyon yayıncılığı alanındaki teknolojik ilerlemelerin iletişim altyapısında da eş zamanlı etki gösterdiği ayrıntılı şekilde işlenmiştir. Elde edilen verilerin yayıncılık üzerine çalışan kişiler için kaynak niteliği taşıyabileceği düşünülmektedir. Bu anlamda bu çalışma akademik bir kaynak oluşturma önemine sahiptir. Haberleşmenin vazgeçilmez bir parçası olan antenler ve son gelişmelerle her alanda etki eden 5G teknolojisinin getirisi olan MIMO anten teknolojisi alanında geniş bir kapsam sunan bu tez, haberleşme alanı için önemlidir.

Ayrıca Radyo ve Televizyon Üst Kurulu'na (RTÜK) ait tez kütüphanesinde yapılan araştırmalarda tezin konusuna ilişkin çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür. RTÜK'ün yayıncılık sektöründe son teknolojilerin takibini son derece önemsediği göz önünde bulundurulduğunda bu tez çalışması yayıncılık alanında öneme sahiptir.

Sınırlılıklar

Tez çalışmasında kablosuz haberleşme teknolojilerinden bahsedilirken MIMO anten üzerine yoğunlaşmak amaçlandığı için 1G'den dördüncü nesle (4G - 4th Generation) kadar

olan kısımda sınırlı bilgiler aktarılmıştır. Zaman kısıtlaması sebebiyle yayıncılık alanındaki antenler ve MIMO anten teknolojisi hakkında bütünlüğü bozmayacak şekilde belirli çerçeve içerisinde konulara değinilmiştir.

Tanımlar

Tez içerisinde önemle incelenen anten, verici, MIMO ve mobil haberleşme kavramlarının tanımları aşağıda yer almaktadır.

Anten: Boşluktaki elektromanyetik dalgaların iletim hatları içerisinde yayılmasını sağlayan veya iletim hatlarından gelen sinyalleri boşluğa dalga olarak yayan cihazlardır.

Verici: Elektromanyetik dalgaların modülatör yardımıyla alıcılar tarafından algılanmasını sağlayan cihazdır.

MIMO: Verici veya alıcı kısmında birden fazla anten kullanılarak bağlantı performansını artırmaya yarayan çoklu girişe karşı çoklu çıkışı olan anten sistemidir.

Mobil Haberleşme: Kablosuz iletişim teknolojileri kullanarak hareket halindeki kişilerin, cihazların veya araçların birbirleriyle veya sabit ağlarla iletişim kurmasını sağlayan bir iletişim şeklidir.

BÖLÜM 2

YÖNTEM

Yöntem ana başlıklı bu bölümde; Araştırmanın Modeli, Verilerin Toplanması, Verilerin Çözümlenmesi alt başlıkları incelenecektir.

2.1 Araştırmanın Modeli

Tez çalışmasında nitel araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Nitel araştırma yönteminde neden sonuç ilişkisi bağlamında olgu ve durumlar incelenir (Yıldırım, 1999, s. 10). Bu yöntemle incelenen kaynaklarda kronolojik sırada konu bütünlüğüne dikkat edilmiştir. Çeşitli kaynakların değerlendirilmesiyle tez çalışmasının olay akışı şekillendirilmiştir.

2.2 Verilerin Toplanması

Bu tez çalışmasında "Kaynak Tarama Yöntemi" kullanılmıştır. Literatür taraması, problemlere dair bir çerçeve çizerek sınırları belirlemek, geçmişte yanlış olarak kabul edilmiş yöntemleri elemek, gelecek çalışmalara odaklanmak gibi imkânlar sunar. Literatür taramasında amaç var olan kaynakların sentezlenerek tezin hangi bağlamda ilerleyeceğini belirlemektir (Köroğlu, 2015, s.61). Bu doğrultuda anten sistemleri ve 5G teknolojisinde etkili MIMO anten teknolojisi hakkında bilgi veren kitap, makale, tez, dergi, teknik rapor ve ders notlarından faydalanılmıştır. Elde edilen veriler analiz ve yorumlamaya tabii tutularak değerlendirilmiştir. Dijital ve matbu olarak incelenen kaynakların doğru ve güvenilir olmasına özen gösterilmiştir. Uluslararası koordinasyon kuruluşlarının, teknoloji şirketlerinin, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) gibi düzenleyici kurumların hazırlamış olduğu sektör raporları dikkate alınmıştır.

2.3 Verilerin Çözümlenmesi

Farklı türde kaynaklardan elde edilen bilgiler ayrıntılı şekilde okunarak değerlendirilmiştir. Güvenilirlik ve konu bütünlüğüne özen gösterilerek elde edilen veriler içeriksel olarak sınıflandırılmıştır. İlgili bölümlere göre tasnif edilen bulgular tezin genel düzenini belirlemiş ve kapsamlı bir veri havuzu oluşturmuştur.

BÖLÜM 3

RADYO VE TELEVİZYON YAYINCILIĞI TEMELİNDE İLETİŞİM

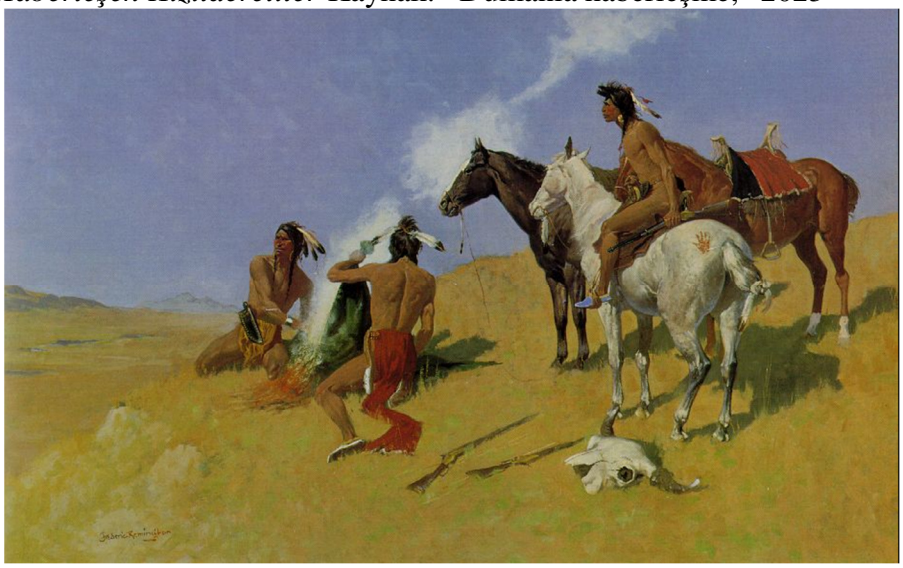
Bu bölümde yayıncılıkla ilgili temel kavramlarla beraber radyo ve televizyonun tarihçesi ve alıcı-verici sistemleri açıklanacaktır.

3.1. Haberleşme Kavramı

Haberleşme, var oluş itibariyle insanların hayatında çeşitli yöntem arayışları içinde önemli bir yer edinmiştir. Geçmişi insanlık tarihiyle aynı olan haberleşmenin başlangıcı bağırmak, mağara duvarlarına çizilen resimler, ateş yakılarak çıkarılan dumanlardan ibarettir. Daha sonra gereksinimler doğrultusunda insanlar yeni yöntemler arama ihtiyacı hissetmiştir. Uzak mesafe haberleşmesi için insanlar kuleler koyarak, işaretler ile haberleşme şeklini seçmiştir. Elektriğin de desteğiyle 1800'lü yıllarda elektrikli telgraf ve telefon ile 1900 yıllarda ise radyo yardımıyla haberleşme sağlanmıştır (Aslan vd., t.y., s. 12). Günümüzde teknolojinin gelişimi ile haberleşme kaynakları çeşitlilik göstermiştir. Gelişen teknolojinin getirisi olarak mektup, telgraf, radyo, televizyon, sinema gibi haberleşme araçları kullanılmıştır. Daha pratik, hızlı ve erişilebilir haberleşme kaynakları mevcuttur (Aziz, 1976, s. 1-2).

Şekil 1

Dumanla Haberleşen Kızıldereliler Kaynak: **"**Dumanla haberleşme," 2023



Çağımızda haberleşme telefon, radyo ve televizyon, internet, yerel ve geniş ağlar sayesinde gerçekleştirilmektedir. Teknik açıdan incelendiğinde verici, iletim ortamı ve alıcı olmak üzere 3 temel birim, haberleşme sistemini oluşturur. Kendisine gelen bilgiyi sinyale dönüştürme görevi üstlenen verici bilgiyi iletim ortamından geçirerek alıcı tarafına iletir. Alıcı kısmında sinyal kullanılabilir bilgiye dönüştürülür. Böylece haberleşme sağlanmış olur. İletim ortamına örnek olarak serbest uzay verilebilir (Eldem, 2015, s. 3).

3.2. Kitle İletişim Kavramı

Matbaanın icadı ile temeli atılmış olan kitle iletişim kavramı aynı anda birçok kişiye ulaşarak etki edebilme özelliği sayesinde toplumda büyük etkiler yaratmıştır. Teknolojinin gelişimi birçok alanda olduğu gibi kitle iletişim noktasında da artışa sebep olmuştur (Pazarbaş, 2013, s.128).

Haberleşmenin çeşitlilik göstermesi kitle iletişim kavramını önemli kılmıştır. Tanımlamak gerekirse kitle iletişimi mesajın birden fazla kitle iletişim aracı ile alıcı tarafa iletilmesidir. Genel olarak alıcı taraf okuyucu, dinleyici, izleyici kitleden oluşturulmuştur. İletişimin kurumsal ve genel hale çevrilmiş halidir. Başlatılan iletişim bir süreçten ibarettir. Kitle iletişim araçları toplumda meydana gelen olaylara yanıt oluştururlar. Başta gelen kitle iletişim araçları radyo ve televizyondur (MEB, 2011, s. 3).

3.3. Yayın Kavramı

Kitle iletişimde önemli bir yere sahip olan radyo ve televizyona odaklanmadan önce yayın kavramının incelenmesi gerekmektedir. Yayın elektromanyetik dalgalar kullanılarak vericiden alınan bilginin alıcılar ile topluma aktarılmasıdır. Yayın da asıl amaç iletiyi belirli kişilere aktarmaktır. Bu sebeple ortak elektromanyetik dalga kullanımına rağmen radyo komünikasyon ve telekomünikasyondan ayrılır (Aziz, 1976, s. 6).

3.3.1. Radyo Yayını Tarihçesi

Radyo yayını elektromanyetik dalgalar yoluyla bir olayın, bir iletinin ortama ses yolu ile aktarılmasıdır. Başka bir şekilde ifade etmek istersek kulakla duyulabilecek seslerin ve sinyallerin radyo frekansları ve özel alıcılar vasıtasıyla alınarak topluma sunulması olarak da tanımlanabilir (Aziz, 1976, s. 7).

İletişim yaşantımızda her zaman hayati öneme sahip olsa da iletişime dair geliştirilen yeni teknolojiler sayesinde 20. Yüzyılın sonlarına doğru daha da önemli bir hale gelmiştir. Maxwell, Hertz, Fleming, Stubblefield, De Forest, Markoni gibi bilim insanlarının çalışmaları sonucu ortaya çıkan radyo, her şeye rağmen hala önemini korumaya devam etmektedir (Özçağlayan, 2012, s. 530).

Günümüzde yaygın bir kullanıma sahip olan radyonun gelişimi birçok ulusun çalışması ile meydana gelmiştir. Radyonun kitle iletişim aracı olarak kullanılması 1920'li yıllara dayanmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) 2 Kasım 1920'de ilk radyo vericisi kullanılmıştır. Bu gelişmeyi takiben aynı yıl içinde İngiltere, Fransa, Sovyetler Birliği ve Almanya'da da radyo yayınları yapılmaya başlanmıştır (Aziz, 1976, s. 10). Türkiye'de ise ilk radyo yayını 1927 yılında yapılmıştır. 20 yıl içerisinde radyo yayınları Anadolu sınırlarına yayılmıştır. 1970'li yıllar da ise radyo yayınları tüm ülkede yaygın bir hal almıştır ("Türkiye'de radyo," 2024).

Genel anlamda radyonun gelişimi kronolojik sıra ile incelendiğinde 5 döneme ayrılabilir.

- 1922-1927 arası radyo gelişimi: Bu dönem aralığında ilk deneme yayınları yapılmıştır. 5 yıllık süreç içerisinde radyo yayıncılık faaliyetleri birçok ülke tarafından benimsenmiştir.
- 1927-1945 arası radyo gelişimi: Bu zaman aralığında 2. Dünya Savaşının da etkisiyle radyo yayınları propaganda amacıyla kullanılmıştır. Haberleşme açısından önemi anlaşılan radyo gerek teknolojik gerekse sosyal olayların etkisiyle gelişim göstermiştir.
- 1945-1960 arası radyo gelişimi: Televizyon yayıncılığının da ortaya çıkmaya başladığı bu dönem aralığında radyo kendini yenileme yolunda ilerlemiş televizyon ile rekabet içerisinde olmak zorunda kalmıştır.
- 1960-1980 arası radyo gelişimi: Televizyonun altın çağı olarak nitelendirilebilecek bu aralıkta radyo bireysel olarak takip edilen bir kitle iletişim aracına evrilmiştir.
- 1980 sonrası radyo gelişimi: Yerel radyo yayıncılığının geliştiği bu dönemde televizyon ile mücadele edebilmek amacıyla "Canlı Yayın" sistemine geçilmiş ve radyo kanallarının sayısı artırılmıştır.

- Günümüzde ise önemli kitle iletişim araçlarından biri olan radyo, artık gelenekselleştiği ve demode olduğu yönünde eleştirilere maruz kalsa da kitlelerce ilgiyle takip edilmeye devam edilmektedir (Aziz, 2013, s. 42-43).

3.3.1.1. Radyolarda Alıcı-Verici Sistemleri

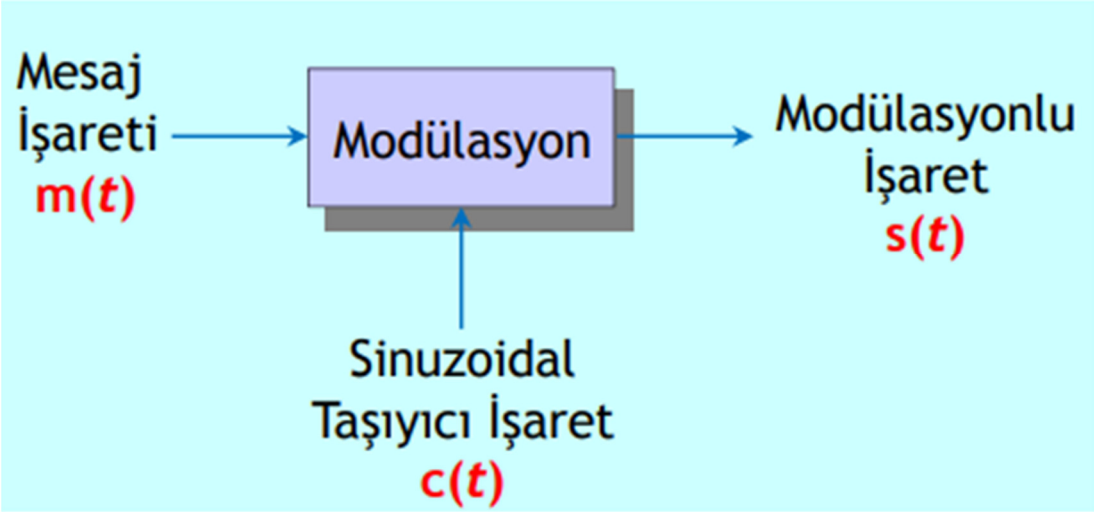
Teknik açıdan radyolar değerlendirildiğinde bir radyo sisteminde temel faktörler alıcı ve vericilerdir. Alıcı başlangıçta iletilecek sinyali seçer. Bahsedilen radyo alıcılarının var oluşu yapılan birçok teknik çalışmaya dayanır. Hertz tarafından başlatılan çalışmaları 1892 senesinde Alman Zehnder ve 1894 senesinde ise Oliver Lodge'ın bilimsel hesaplamaları izlemiş ve bir elektronik araç olan alıcı ortaya çıkmıştır. Günümüzdeki radyo alıcısının ortaya çıkışı ise De Forest'ın çalışmaları sonucu üç elementli boşluk tüpünün bulunması ile olmuştur (Aziz, 2013, s. 44).

Radyo yayıncılığında genlik modülasyonu (AM- Amplitude Modulation) ve frekans modülasyonu (FM- Frequency Modulation) sistemleri frekans bant aralıkları açısından ayrılırlar. FM bandı 87.50-108 megahertz (MHz) bant aralığını kapsarken AM sistemi uzun, orta ve kısa dalga bantlarında yayınlarını sürdürebilir. Türkiye standartlarında uzun dalga 148.5-283.5 kilohertz (kHz), orta dalga 526.5-1606.5 kHz, kısa dalga ise 5950-26100 kHz frekans aralığında çalışır. FM sinyalleri, AM sinyalleri kadar uzağa etki edemezler ancak doğrusal ilerledikleri için AM'e kıyasla dış etkilerden daha az etkilenirler. Bu sebeple FM avantajlı olan kısımdır (Kesim, Kıray & Ataman, 2012, s. 80-81). İlk alıcılar AM yayınlar için olup günümüz alıcılara kıyasla farklıdır. AM bandındaki ses güçlüklerini yok etmek için yapılan çalışmalarda FM yayınlar ortaya çıkmıştır. Bu yeni yayın bandına uyumlu alıcılar da kullanılmaya başlanmıştır (Aziz, 2013, s. 44).

Belirtilen modülasyon kavramının açıklanması gerekmektedir. Modülasyon iletilmek veya aktarılmak istenen işaretin aktarımını en verimli şekilde yapmak için sinyalin dönüştürülmesi işlemidir (Kabalcı, s.7).

Şekil 2

Modülasyon Blok Şeması Kaynak: Kabalcı, s.7

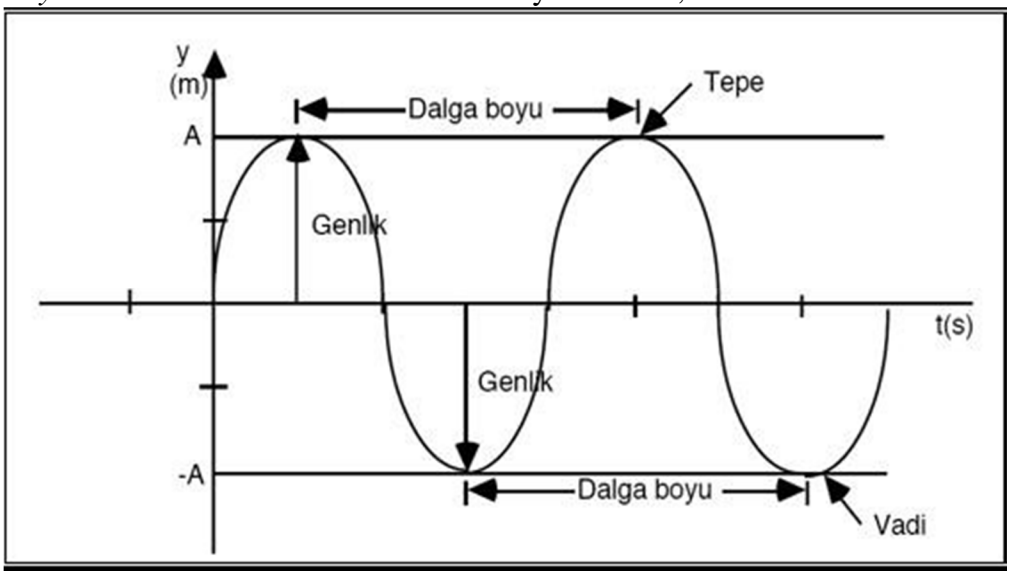


Şekil 2'de görüldüğü gibi modülasyonun temelinde iki sinyal vardır. Biri iletilmek istenen işaret olan mesaj işareti, diğeri ise taşıyıcı işarettir. Modülayonla hedeflenen şey mesaj işaretinde meydana gelen değişikliklerin taşıyıcı sinyali şekillendirmesidir. Mesaj işareti taşıyıcı sinyal üzerinden aktarılır. Modülasyon işlemi tersine dönebilen bir eylemdir (Ertem, s.104). Modüle edilmiş modülasyonlu işaretin modülasyon türüne uygun olacak şekilde taşıyıcı ve mesaj işareti olarak tekrar ayrıştırılmasına demodülasyon denir (Beyaznet, 2024).

Modülasyonun anlamlandırılması için analog ve dijital sinyal kavramları açıklanmalıdır. Analog sinyal sürekli sinyal olmalarının yanısıra zamana bağlı olarak genliği, frekansı ve fazı değişen sinyallerdir. Analog sinyaller sinüsoidal sinyallerin toplamından oluşur. X(t)=Asin(wt+ø) ifadesi bu toplamı ifade eder. Formülde A genliği ø fazı w radyal frekansı ifade eder. Radyal frekans 2*π*f ile formülüze edilir. Frekans ifadesi f ile gösterilmiştir (Karakuş, 2020, s. 34). Analog sinyallerle ilgili aşağıda Şekil 3'de verilen birkaç kavramın anlamı aktarılmıştır.

Şekil 3

Analog Sinyallere Ait Teknik Terim Gösterimi Kaynak: TUA, 2024



Şekil 3 üzerinde görüldüğü gibi dalgada tekrar eden dalga tepeleri arasındaki uzaklık dalga boyu, zaman içerisinde bir saniyede geçen dalga sayısının miktarı frekans, sıfır noktası ile dalganın tepesi arasındaki mesafe ise genliktir (TUA, 2024).

Matlab üzerinde 0.05 saniye aralıklarla frekansı 5 Hz, genliği 10 olan bir analog sinyal X(t)=Asin(wt+ø) ifadesinden yararlanılarak çizdirilmiştir.

Şekil 4

Analog Sinyal Oluşumuna Ait Matlab Kodu

```
K>> % Zaman vektörü aralığı oluşturma
t = 0:0.05:2; % 0'dan 2'ye kadar 0.05 saniye aralıklarla

% Analog sinyal oluştur
f = 5; % Sinyal frekansı (Hz)
A = 10; % Sinyal genliği
analog_sinyal = A * sin(2*pi*f*t); % Sinüsoidal sinyal formülü

% Dalga boyunu hesaplama
lambda = 1 / f;

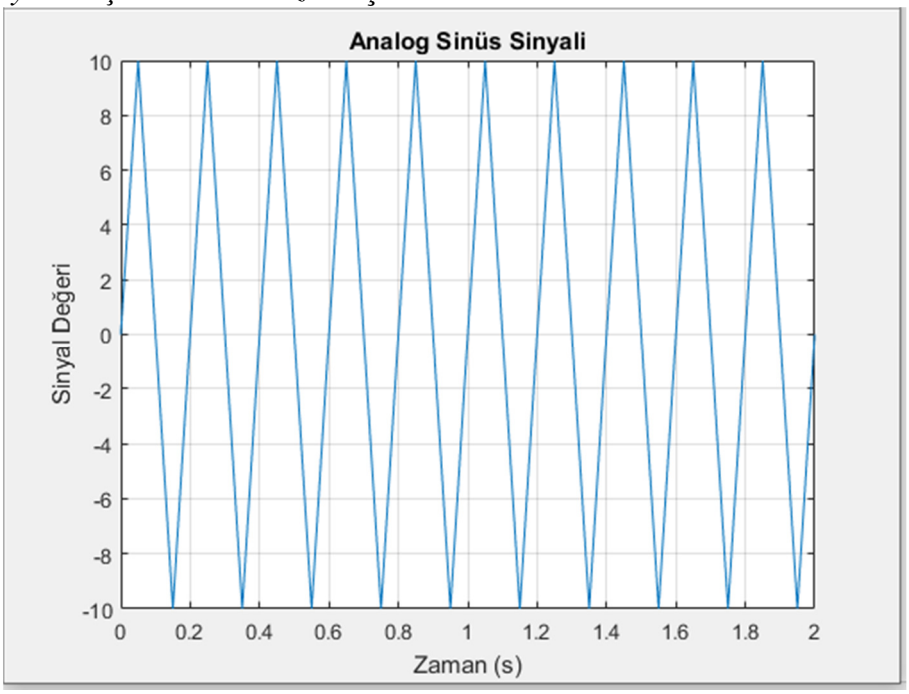
% Sinyali çizdir
plot(t, analog_sinyal);
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Sinyal Değeri');
title('Analog Sinüs Sinyali');
grid on;

% Dalga boyunu ekrana yazdır
fprintf('Dalga boyu: %.2f birim\n', lambda);
```

Kod çıktısı olarak dalga boyunun 0.20 birim olduğu anlaşılmıştır**.**

Şekil 5

Analog Sinyal Oluşumuna Ait Yazılım Çıktısı



Dijital sinyaller sürekli olmayan ani değişimler gösteren, 1 0 binary şekilde ifade edilen sinyallerdir. Genellikle analog sinyallerin örneklemesi yapılarak dijital sinyaller oluşturulur (Çalışkan, 2023, s.14-15).

Matlab üzerinde binary [1 1 0 0 1 0] değerlerindeki dijital sinyal çizdirilmiştir.,

Şekil 6

Dijital Sinyal Oluşumuna Ait Matlab Kodu

```
K>> % Zaman vektörünü tanımla
t = 0:0.01:1; % 0'dan 1'e kadar 0.01 saniye aralıklarla

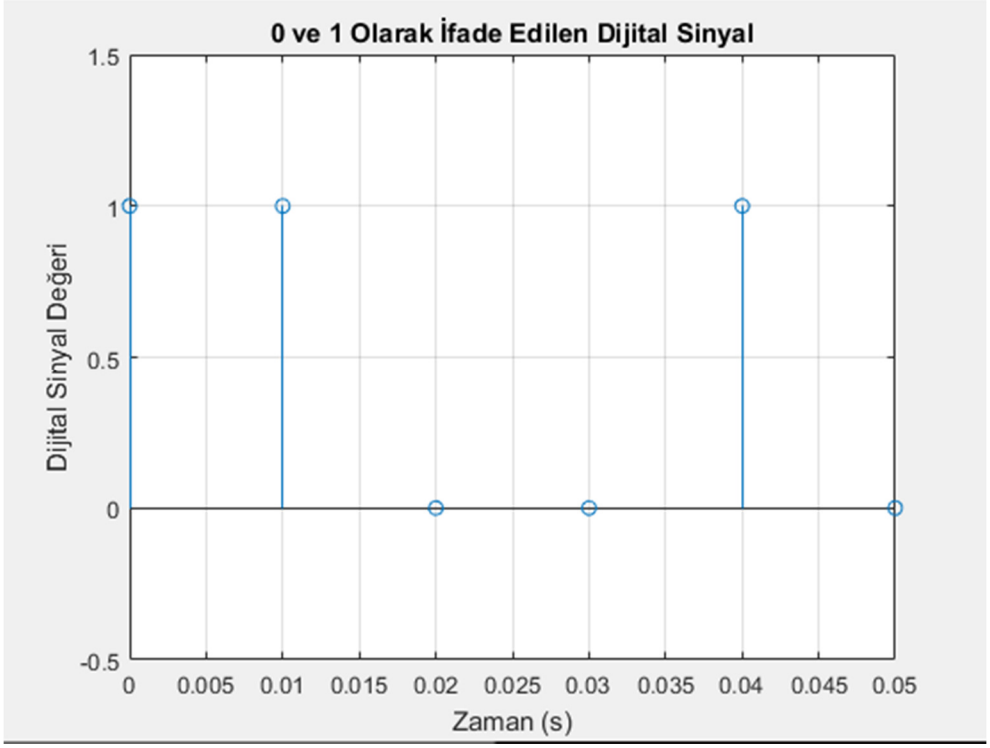
% Dijital sinyali tanımla
digital_sinyal = [1 1 0 0 1 0]; % 0 ve 1 olarak ifade edilen bir dijital sinyal

% Zaman vektörünün uzunluğunu dijital sinyal ile uyumlu hale getirmek için
t = t(1:length(digital_sinyal));

% Sinyali çizdir
stem(t, digital_sinyal);
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Dijital Sinyal Değeri');
title('0 ve 1 Olarak İfade Edilen Dijital Sinyal');
axis([0 max(t) -0.5 1.5]); % Eksen aralığını ayarlamak
grid on;
```

Şekil 7

Dijital Sinyal Oluşumuna Ait Yazılım Çıktısı



Sonuç olarak ortaya çıkan dijital sinyal Şekil 7'de verilmiştir. Sinyalin sürekli bir işaret olmadığı görülmektedir.

Radyo vericileri stüdyolardaki iletilecek kaynağın alıcılara ulaşmasını sağlayan teknik cihazlardır. Stüdyolarda hazırlanan sesler ses sinyaline dönüştürülür bir başka deyişle iletilmek veya saklanmak için elektromanyetik enerjiye çevrilmiş hale getirilir. Dönüştürülen ses sinyali kablo, radyolink veya uydu yardımıyla verici istasyonlara gelir. Yayın verici istasyondan yapılır ("Radyo vericisi," 2024).

Şekil 8

FM Verici Sistemleri Kaynak: "Kule A.Ş." Türkiye'de Özel Yayıncılığın Başlangıcı Gelişimi Ve Bir Başarı Hikayesi Çamlıca, s.17



3.3.2. Televizyon Yayını Tarihçesi

Televizyon yayını elektromanyetik dalgalar yoluyla bir iletinin hem ses hem de görüntü olarak aktarılmasıdır. Alıcılar yardımı ile boşluktaki ses ve görüntü sinyalleri alınır (Aziz, 2013, s. 36).

Jhon Logie Baird'ın çalışmaları baz alınmış ve televizyonun bulunuş tarihi 26 Ocak 1926 olarak kabul edilmiştir. 1929 yılında İngiltere'de düzenli televizyon yayını başlamıştır. Ancak 2. Dünya savaşı televizyonun hızlı gelişimini sekteye uğratmıştır. Radyonun ülkemize gelişi dünyaya kıyasla birkaç yıl geç olmuştur. Televizyon ise dünyaya kıyasla ülkemize yarım asır geç gelmiştir. 1952 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinin çalışmaları ile ülkemizde ilk yayınlar başlamıştır. Resmi olarak Türkiye Radyo ve Televizyon Kurumu (TRT) yayınlarına ise 1968 senesinde başlamış, televizyonun gelişimini izleyen süreçte 1984 yılında ise renkli televizyon yayını yapılmaya başlanmıştır (Bay, 2006, s. 18-20).

Şekil 9

10 Temmuz 1952 Tarihli Cumhuriyet Gazetesi Kaynak: Çiçek, 2017, s. 10



İlk televizyon yayını dün şehrimizde yapıldı

Teknik Üniversiteden yapılan yayın Beyoğlunda seyredildi

Televizyon yayınları Beyoğlundaki bir mağazadan seyredilirken

3.3.2.1. Televizyonda Alıcı-Verici Sistemleri

Televizyonun var oluşunda teknik çalışmalarıyla destek veren kişi sayısı çok fazladır. Yayın olarak ses ve görüntünün aktarılmasında ve televizyon alıcılarının ortaya çıkışında etkin çalışmaları ile ön plana çıkan isimler arasında Andrew Mey, Paul Nipkow, Francis C. Jenkins, Logie Baird, Philo Farnsworth ve Zworykin sayılabilir. Teknik ilk buluş Andrew May tarafından 1873 senesinde yapılmış olup yukarıda adı geçen bilim insanları tarafından yapılan çalışmalarla ilerleme katedilmiştir (Aziz, 2013 s.46).

Televizyonun çalışma prensibinde ses ve görüntü beraber gönderilir. Görüntünün aktarımı genlik modülasyonu ile sesin aktarımı ise çoğunlukla frekans modülasyonu ile gerçekleştirilir. Taranmak üzere görüntü elektriğe dönüştürülür. Taranan resim elektriksel sinyale dönüştürülür. Ses ise amplifikatörler yardımıyla yükseltilerek elektrik sinyali halini alır. Görüntü ve ses elektromanyetik dalgalar olarak alıcı antene gelir ve tekrar

yükselticilerden geçip geri dönüştürülerek resim ve ses halini alır (MEB, 2011, s. 3). Televizyon alıcısı**,** bir televizyonun, kanal arayıcı, görüntü ve hoparlörlerini birleştiren cihazdır ("Televizyon alıcısı," 2022). Televizyon vericileri stüdyolarda veya herhangi bir mekanda elde edilen verilerin alıcılara aktarımını sağlayan teknik cihazlardır. Televizyon vericilerine yer vericileri de denilmektedir. 1 Watt ile 20 kilowatt aralığında güçlerde çalışan vericilerin bir çok farklı türü bulunmaktadır ("Analog televizyon vericisi," 2023). Alıcı ve verici sistemlerinin beraber kullanımı ile başarılı bir yayın akışı sağlanmaktadır.

BÖLÜM 4

RADYO VE TELEVİZYON YAYINCILIĞINDA ANTEN SİSTEMLERİ

Bu bölümde yayıncılıkta önemi yadsınamaz düzeyde olan anten sistemleri detaylı şekilde açıklanacaktır. Elektromanyetizma üzerine yapılan çalışmalardan itibaren antenlerin tarihçesi, temel anten parametreleri, anten çeşitleri, anten uygulamaları ve ortak anten sistemleri konu başlıkları incelenecektir.

4.1. Antenlerin Tarihçesi

Başlangıçta antenlerin oluşumunda etkili olan Maxwell denklemlerini ve elektromanyetik dalga kavramlarını açıklamak gerekmektedir. 19. yüzyılın ortaları elektrik, manyetizma ve ışık alanındaki araştırmaların büyük ilgi gördüğü bir dönemdir. Bu çalışmalar içinde Newton'un kütle çekim kuvvetine göre elektrik yükleri birbirini etkilerken, Faraday bu görüşü elektrik yüklerinin çevrelerini de etkilediği fikriyle bir adım öteye taşımıştır. Yük korunumuna göre eğer yük yoğunluğu zaman içinde farklılık gösteriyorsa buna karşılık bir akımın ortaya çıkması gerekir. Yani zamanla değişen bir elektrik alanın yanında zorunlu olarak bir manyetik alan ortaya çıkmaktadır. Faraday'ın çalışmalarının devamında ters olarak zamanla değişim gösteren manyetik alanın elektrik alanın oluşumuna da sebep olduğu anlaşılmıştır. Zaman içinde bu bilim dalı "Elektromanyetizma" olarak adlandırılmıştır. Bu konunun kuramsal yapısını ortaya çıkaran isim ise Maxwell'dir. Maxwell, Thomson ve Faraday'ın çalışmalarını değerlendirmiştir. Devam eden çalışmalarında elektromanyetik alan teorisini geliştirmiştir. Bu teori elektromanyetik dalgaların var olduğunu, ışığında bir elektromanyetik dalga olduğunu, elektrik ve manyetik alanların nasıl ortaya çıktığı ve değiştiği gibi birçok noktayı açıklamıştır (Uçar, 2019, s.262).

Uzayda herhangi bir zamanda elektrik ve manyetizmanın birbirine bağlı olarak açıklanabileceğini belirten Maxwell denklemleri iki kavramın ayrı olarak düşünülemeyeceğini kanıtlamıştır. Ayrıca bu denklemlerin integral formları elektromanyetik dalgaların katmanlar arasındaki geçişi için hesaplama imkanı sunmaktadır (Yalın, 2018, s.8).

Maxwell'in "*Elektrik ve Manyetizma üzerine birleşik teori*" aldı çalışması ile ortaya koyduğu Maxwell denklemleri başlangıçta kuşku ile karşılansa da radyonun babası Heinrich Hertz'in çalışmaları ile açıklık kazanmıştır (Christodoulou & Wahid, 2001, s. 1).

Şekil 10

Maxwell Denklemleri Kaynak adı. Uçar, 2019, s.267

İntegral Formları	Türev ifadeleri
$\oint E.dA = \frac{Q}{\varepsilon_0}$ (1.a)	$\nabla.E = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$
$\oint B.dA = 0$ (1.b)	$\nabla.B = 0$
$\oint E.dS = -\frac{d\Phi_m}{dt}$ (1.c)	$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$
$\oint B.dS = \mu_0 I + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_m}{dt}$ (1.d)	$\nabla \times B = \mu_0 \left(J + \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}\right)$

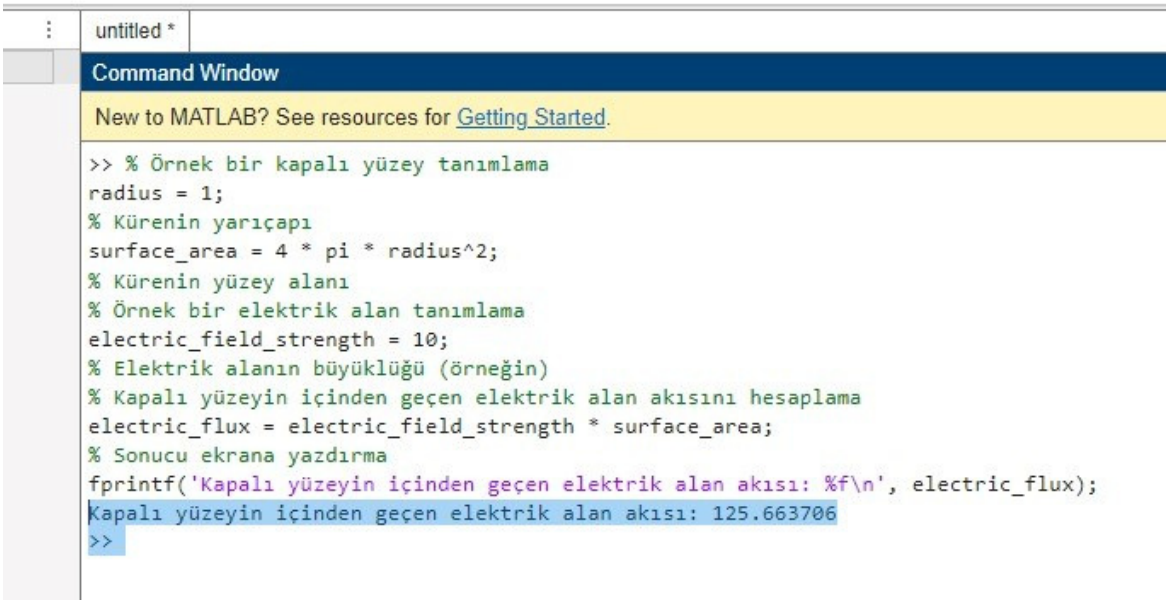
Tabloda belirtilen harflerin karşılıkları şu şekildedir.
E, elektrik alan vektörü,
B, manyetik alan vektörü,
ρ, elektrik yük yoğunluğu,
J, akım yoğunluğu,
ε□, boşluktaki elektriksel geçirgenlik sabiti,
μ_0, boşluktaki manyetik geçirgenlik sabiti,
t, zamandır.

Şekil 10 1.a da geçen türev ifadesinde E elektrik alanı, ρ elektrik yük yoğunluğunu, ε_0 boşluktaki elektriksel geçirgenlik sabitini göstermektedir. 1.a da belirtilen denklem Gauss yasası olarak bilinir. 1773 senesinde J. Louis Lagrange'ın çalışmalarıyla yasa hakkında fikir elde edilmiş, 1813 senesinde ise C. Friedrich Gauss tarafından formülize edilmiştir. Tanıma göre "*Herhangi bir kapalı yüzeyden geçen net elektrik akısı, yüzeyin sarmaladığı net yükün* ε_0'a *bölümüdür."* Gauss Yasasının geçerliliğini koruması için uygun kapalı yüzeyler seçilmelidir. Elektrik alan biliniyorsa bu yasa sayesinde elektrik yük dağılımı bulunabilir ("Gauss Yasası," 2023).

Gauss'un Elektrik Alan Yasası'na göre, kapalı bir yüzeyin içinden geçen elektrik alan akısı, bu yüzeyin içindeki net elektrik yükü ile doğrudan ilişkilidir. Daha spesifik olarak, bir kapalı yüzeyin içinden geçen elektrik alan akısı, bu yüzeyin içindeki net elektrik yükünün, elektrik alanın yüzey üzerindeki yoğunluğu ile çarpımına eşittir.

Şekil 11

Kapalı Yüzeyin İçinden Geçen Elektrik Alan Akısı Hesabı Matlab Çıktısı



Gauss yasasının Matlab üzerindeki hesaplama örneğine ait Şekil 11'de verilen kod elektrik alan akısını hesaplayarak ekrana yazdırma görevindedir.

Şekil 10 1.b'deki Gauss'un Manyetik Alanı Yasası olarak geçen denklem manyetik alan kavramı hakkında önemli bir bilgi verir. Manyetik alanda manyetik yük kavramı yoktur bu sebeple manyetik alan çizgileri kesişmezler. Bir başka deyişle manyetik alan çizgileri bir yüke doğru sonlanmaz yada yükten doğarak başlamazlar. Daima kapalı alan çizgileri vardır. Formüldeki $\nabla\cdot$ operatörü, manyetik alanın diverjansını ifade eder. Diverjans ifadesi ise verilen vektörün alanının bileşenlerinin uzaydaki değişimidir. Vektör akısının miktar olarak ifadesidir.

Şekil 10 1.c'deki Faraday'ın manyetik indüksiyon yasası olarak adlandırılan denklem indüksiyondan kaynaklı oluşan elektromotor kuvvetin, manyetik akının değişim hızı ve bobinin sarım sayısı ile doğru orantılı olduğunu aynı zamanda kapalı yüzeyde manyetik akının değişime karşı negatif işaretli olduğunu göstermektedir (Sandalcı, 2009, s.6). Çok hızlı değişen manyetik kuvvet o hız oranında elektrik üretirken yavaş değişen bir manyetik

kuvvet daha az elektrik üretir (Uçar, 2019, s.268). Yani denklem manyetik alanın değişim gösterdiği durumda, manyetik alanın zamanla değişimine bağlı olarak elektrik alanının meydana geldiğini belirtir.

Şekil 10 1.d'deki denklem ampere yasasıdır. 1826'da André-Marie Ampere'in çalışmaları ile bulunmuş, Maxwell tarafından ilerleyen yıllarda tekrar kanıtlanmıştır. Manyetik alan ile kapalı döngüdeki elektrik akımını bağlantılı olarak ifade eden yasa elektrik alandaki değişimlerinde manyetik alan üzerinde etkili olduğunu gösterir. Amacı elektromanyetik dalgaları almak ve bunu aktarmak üzerine kurulan antenler James Clark Maxwell'in elde ettiği elektromanyetik teorinin temel prensipleri üzerine çalışır (Christodoulou & Wahid, 2001, s. 1).

Sonraki çalışmalarda Heinrich Rudolph Hertz 1886'da ilk kablosuz elektromanyetik sistemi bulmuştur. Anten üzerine çalışmalar Marconi ile hızlanmıştır. 1901 senesinden itibaren Marconi'nin elektromanyetik ışımanın iletimi üzerine yaptığı çalışmalarından itibaren antenler hayatımızda önemli bir yer edinerek birçok uygulamada çeşitleri ile yer almıştır. 1960'lı senelerde bilgisayarla entegre anten sistemleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Elektrik alan dalgalarının metalik bir çubuk yardımıyla ışıması durumu günümüzdeki anten teknolojisini oluşturmuştur (Çekingen, 2011, s.5).

1990 yılına kadar bilgisayar alanında teknolojiye bağlı gerçekleşen yenilikler modern anten teknolojisini de olumlu açıdan etkilemiştir. Sistem tasarımı için ikincil planda tutulan antenler geldiğimiz bu noktada bir sistemin başarısına etki eden önemli bir faktör olarak görülmektedir. Günümüzde anten konusu mühendislik alanı içerisine girmiştir (Aselsan, 2022).

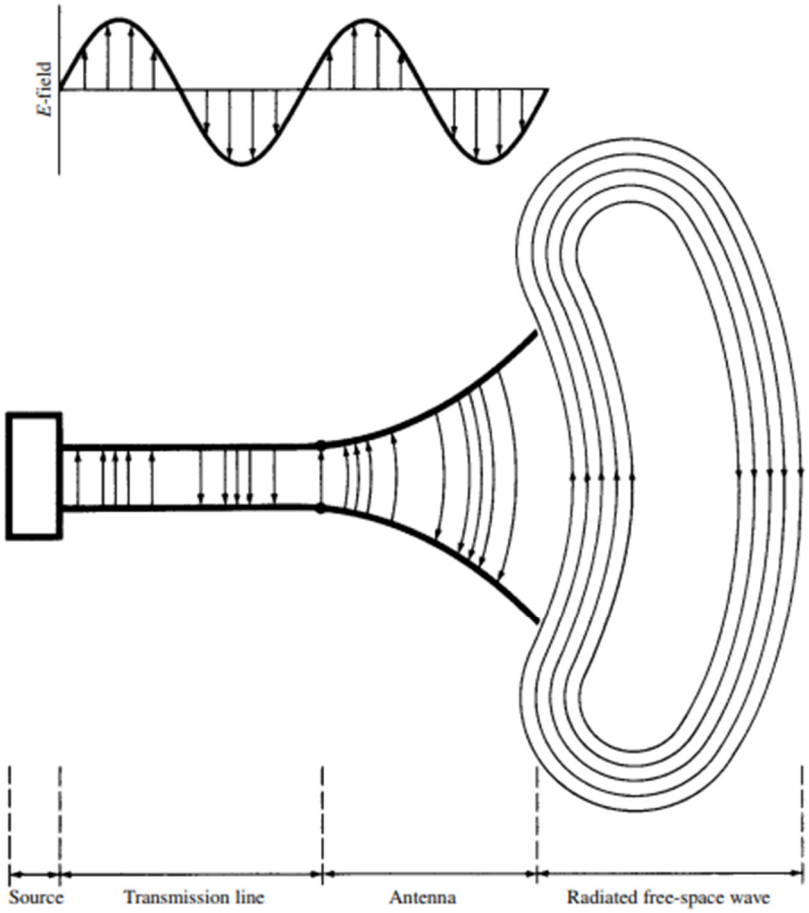
4.2. Antenlerin Eş Değer Devre Yapıları

Anten kavramı yayınları yaymak için kullanılan bir metalik çubuk yada cihaz olarak tanımlanır. Bir başka deyişle antenler, verici kaynaktan yayılan elektromanyetik enerjiyi antene ya da ters yönlü olarak antenden alıcıya iletmek amacıyla kullanılan cihazlardır (Balanis, 2005, s.1).

Anten belirli frekans bantlarında çalışarak yönlendirilmiş elektromanyetik sinyalleri sınırsız bir ortama aktaran iletişim sistemlerinin ana elemanlarıdır. Üretim aşamasında her anten için belirlenen bir frekans bant aralığı vardır ve bu frekanslar dışındaki aktarımlar yapılamaz. Bu özelliği sayesinde antenler filtreleme özelliğine de sahiptir (Kishk, 2009, s. 1).

Şekil 12

Değişim Aygıtı Olarak Anten Kaynak:.Balanis, 2005, s.2

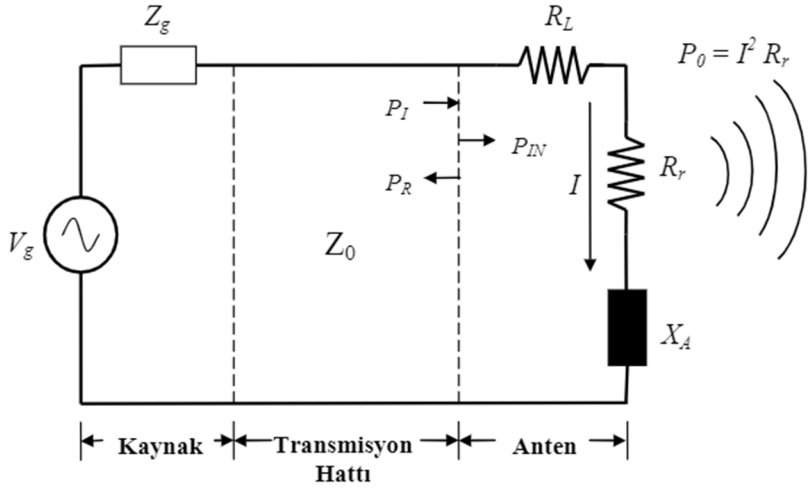


Şekil 12'de antenin kaynak ile serbest alan arasındaki geçiş cihazı olduğu görülmektedir. İletim hattı farklılık gösterebilir. Hat koaksiyel veya içi boş bir boru şeklini alabilir.

Antenlerin eş değer devreleri alıcı ve verici antenler için farklılık göstermektedir. Şekil 13 ve Şekil 14'de antenlerin eş değer devreleri gösterilmiştir.

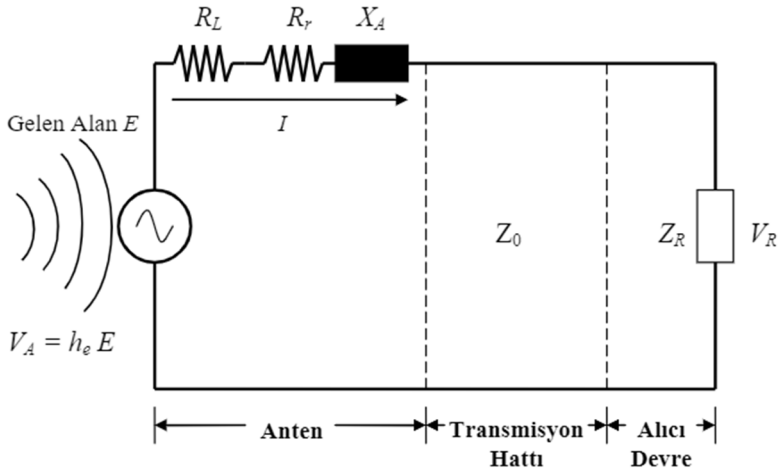
Şekil 13

Antenin Verici Eş Değer Devresi Kaynak: Çekingen, 2011



Şekil 14

Antenin Alıcı Eş Değer Devresi Kaynak: Çekingen, 2011



Antenlerin devre eşdeğerleri incelenirken aşağıdaki ifadelerinin göz önüne alması gerekmektedir.

$Z_A = (R_L + R_r) + jX_A$: Anten empedansı (Ohm)

R_r: Radyasyon rezistansı (Ohm)

R_L: Kayıp rezistansı (Ohm)

X_A: Anten reaktansı (Ohm)

Vg: Verici devrenin çıkış gerilimi (Volt)

Zg: Verici devrenin empedansı (Ohm)

P_I: Antenin girişine ulaşan güç (Watt)

P_R: Anten girişinden verici devreye geri dönen güç (Watt)

$P_{IN} = P_I - P_R = I^2 R_A$: Antenin giriş gücü (Watt)

$P_0 = I^2 Rr$: Toplam ışıma gücü (Watt)

I: Antenin giriş akımı (Amper)

Z_0: Antene giden hattın karakteristik empedansı (Ohm)

$V_A = heE$: Gelen dalga ile indüklenen gerilim (Volt)

he: Etkin anten uzunluğu (metre)

E: Gelen dalganın elektrik alan şiddeti (Volt/metre)

V_R: Alıcı devreye aktarılan gerilim (Volt)

$Z_R = R_R + j X_R$: Alıcı devre giriş empedansı (Ohm)

R_R: Alıcı devre giriş direnci (Ohm)

X_R: Alıcı devre giriş reaktansı (Ohm)

4.3. Temel Anten Parametreleri

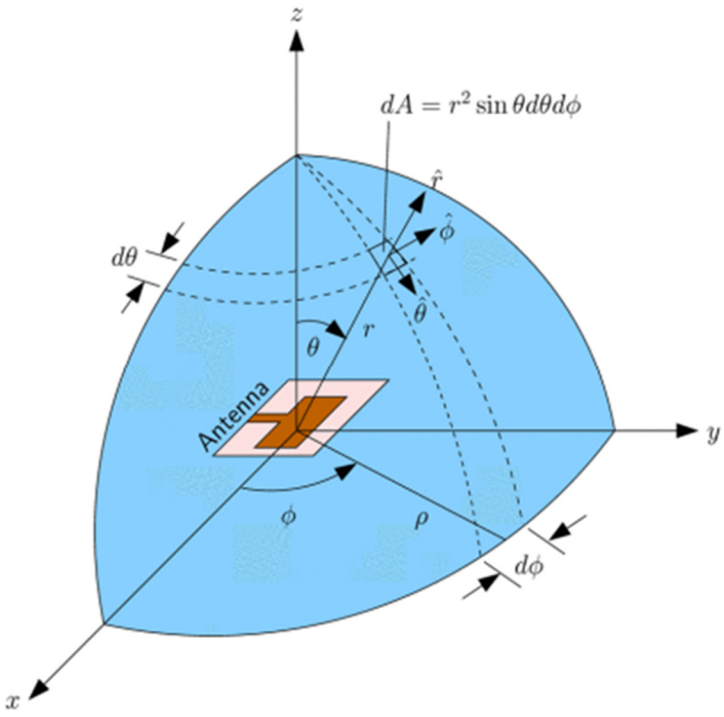
Tasarım aşamasında kullanım amacı belirlenen antenler, amacına uygun çalışabilmek için sistem davranışını belirleyen özelliklere sahip olmalıdır. Bir antenin performansını tanımlamak için çeşitli parametrelerin tanımları gereklidir. Haberleşmeye en uygun şekilde, kalitenin maksimumda tutulması amaçlanarak koşullara uygun anten parametreleri seçilmelidir. Bu parametreler antenlerde istenilen özellikler doğrultusunda değişkenlik gösterebilir. Parametre tanımları bu kısımda verilecektir (İpekli, 2021, s.10).

4.3.1. Işıma Deseni

Işıma deseni antenin yaymış olduğu ışıma özelliklerinin, uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak matematiksel ya da grafiksel gösterimidir. Işıma deseni üzerinden incelenen ışıma özellikleri arasında güç yoğunluğu, elektrik alan şiddeti, yönlülük, kutuplanma bulunur (OMÜ, 2020).

Şekil 15

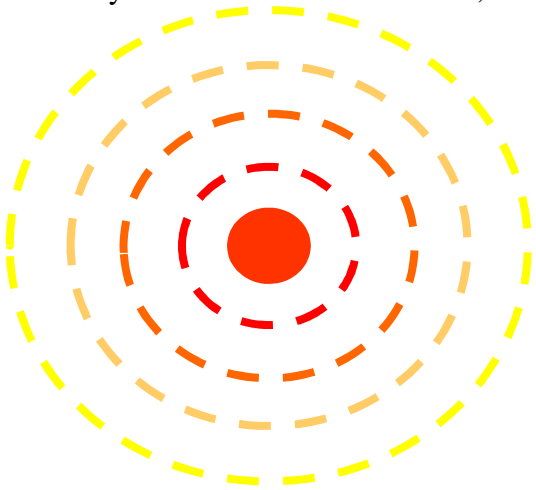
Anten Analizi İçin Koordinat Sistemi Kaynak: OMÜ, 2020



Pratikte yaygın olarak kullanılan şekliyle ışıma desenleri izotropik, yönlü ve çok yönlü desenler olarak ayrılır. İzotropik anten tüm yönlerde eşit ışıma yapan kayıpsız bir antendir. Pratikte olmayan varsayımsal, deneysel bir anten çeşididir. Anten yönlülüğü ve kazancı hesaplanırken izotropik anten kullanılır (Balanis, 2005, s.28).

Şekil 16

İzotropik Anten Işıma Paterni Kaynak adı. Kathreın Seminar1, 2019



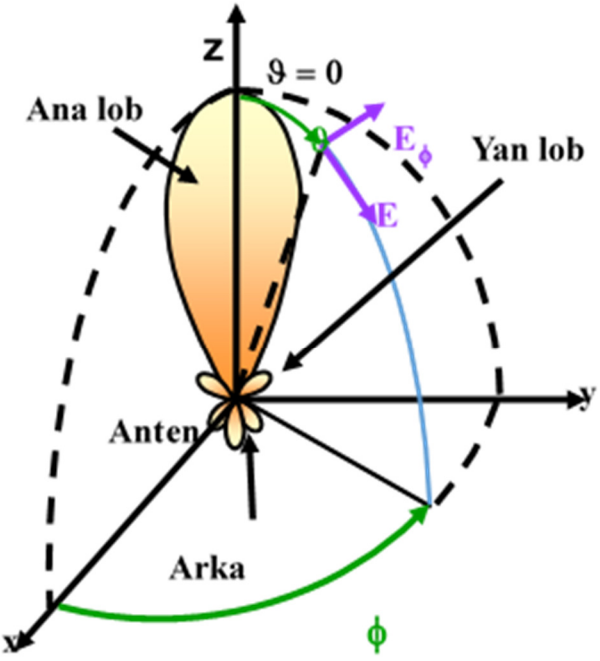
Yönlü anten, ışımasını bir yöne bazı yönlere göre daha etkili yayma ve alma özelliğine sahip antendir. Çok yönlü anten ise ortam koşullarından etkilenerek kayıplarla beraber yaklaşık olarak her yöne ışıma yapan antendir.

4.3.1.1. Işıma Modeli Lobları

Antenin kutupsal koordinatlar baz alınarak hangi yönde ışıma yaptığının 3 farklı lobda grafiksel olarak eğrilerle ve yüzeylerle gösterimine ışıma diyagramı denir. Işıma diyagramlarını oluşturan ışıma lobu, yan lob ve arka lob parçalarından 3 boyutta antenin ışıma yaptığı miktar ve yön bilgisi alınmaktadır. Aynı zamanda ışıma hakkında güç ve kazanç bilgilerini de barındırır (Emin & Başbuğ, 2019, s.20).

Şekil 17

Işıma Diyagramı Kaynak adı. Kathreın Seminar1, 2019



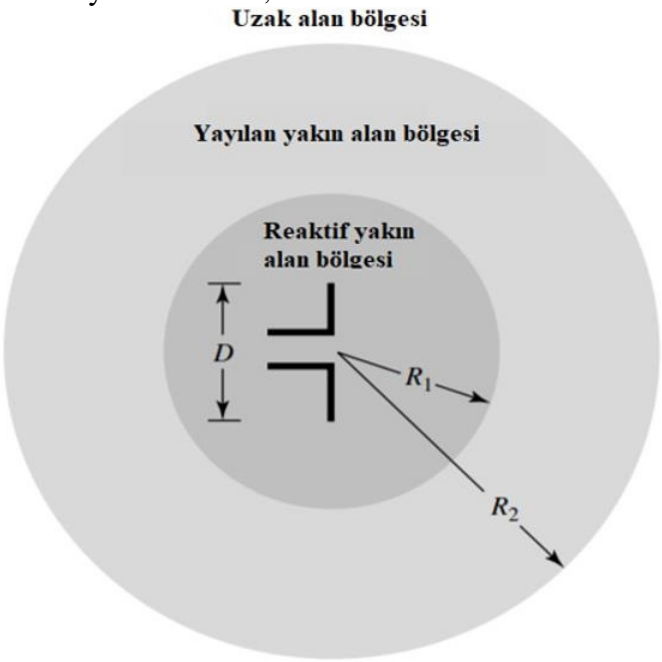
Şekil 17'de belirtilen ana lob kısmı temel ışıma yönüdür. Işıma sırasında diğer yönlerdeki elektromanyetik dalgalar sonucunda oluşan istenmeyen ışımalar yan lobları oluştururken ana lobun 180 derece tersinde oluşan ışıma arka lobdur (Emin & Başbuğ, 2019, s.21).

4.3.2. Anten Alan Bölgeleri

Anten etrafındaki uzay çoğunlukla reaktif yakın alan, ışıyan reaktif yakın alan diğer bir ifadeyle yayılan yakın alan ve uzak alan olarak 3 kesite bölünür. Bölgeler alan yapılarını belirtirken sınırların aşılması durumunda sivri değişikliklere sebebiyet vermese de farklılıklar oluşturur. Bölgeleri birbirinden ayıran kriterler belirlenmiştir (Páez vd., 2012, s.100).

Şekil 18

Antenin Alan Bölgeleri Kaynak: Balanis, 2005



Şekil de verilen D antenin uzunluğunu, R_1 reaktif yakın alan bölgesinin yarıçapını R_2 ışıyan yakın alan bölgesinin yarıçapını ifade etmektedir. R_1 mesafesinin hesabında kullanılan en yaygın ifade aşağıda verildiği şekildedir.

$$R1 = 0.62\sqrt{D^3 \div \lambda}$$

Genel kabulde R_2 yarıçapı ise,

$R_2 = \max(2 \times (D^2 \div \lambda) \times 20 \times \lambda \times 50 \times D)$

ifadesi ile hesaplanır. Formüllerden anlaşılacağı üzere yakın ve uzak alan sınırları, dalga boyuna dolasıyla frekansa ve anten boyuna bağlıdır.

Antene en yakın olan bölge reaktif yakın alan bölgesidir. Bu bölgede depolanan enerjinin anten yüzeyine mesafesi minimum seviyededir. Şekil 18'de de görüldüğü üzere antenin hemen etrafını saran ve enerjinin maksimum olduğu bölge reaktif yakın alan olarak

adlandırılır. Uzak alan ve reaktif yakın alan arasında kalan bölgeye ise yayılan yakın alan denilmektedir. Işıyan dalgaları barındıran antene en uzak mesafede bulunan bölge uzak alan bölgesidir. Yakın ve uzak alan kıyaslamasında yakın alan bölgesinde manyetik ve elektrik alan bileşenlerinin düzlemsel dalga şeklinde davranmamasından dolayı ölçümler kapsamlı ve zorlayıcıyken uzak alan da elektrik ve manyetik alan bileşenleri düzlemsel dalga özelliği gösterdiği için ölçümler daha kolaydır (Emin & Başbuğ, 2019, s.18-19).

4.3.3. Anten Yönlülüğü

Bir antenin yönlülüğü antende meydana gelen belirli bir yöndeki ışıma yoğunluğunun tüm yönlerdeki ortalama ışıma yoğunluğuna bölünmesi ile hesaplanır (Balanis, 2005). Başka şekilde ifade edilecek olursa belirli noktadaki ışıma yoğunluğunun izotropik antenin ışıma yoğunluğuna oranıdır (Johnson, 1993). Yönlülük kazanca eşit ise antende verimlilik %100 anlamına gelmektedir. Pratikte %100 verimli bir anten mümkün değildir (Ulu, 2020, s.11).

Antenin ışıma şiddeti yoğunluğu U, yayınladığı toplam güç P_{rad} ve izotropik bir antenin ışıma şiddeti yoğunluğu U_0 olmak üzere yönlülük aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$D = \frac{U}{Uo} = \frac{4\pi U}{Prad}$$

4.3.4. Anten Polarizasyonu

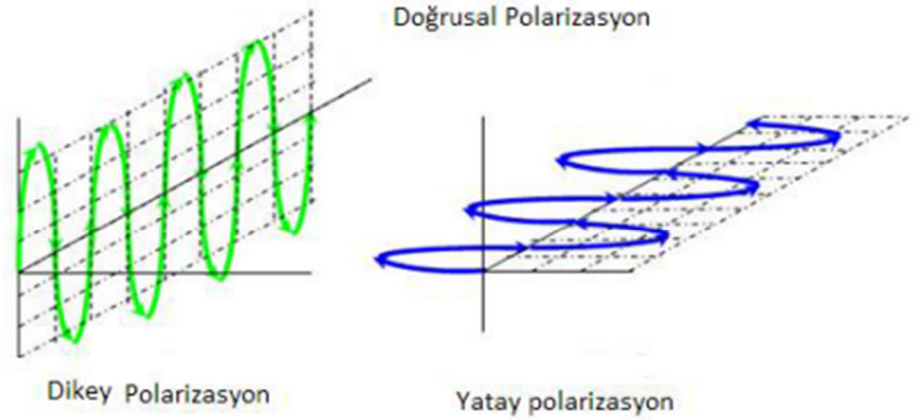
Bir antenin polarizasyonu, elektromanyetik dalganın elektrik alan vektörünün yönü olarak tanımlanır (Kathreın Seminar1, 2019). Alıcı ve verici anten polarizasyonu uyumu gönderilen işarette kayıpları önlemek, verim ve kazanç sağlamak amacıyla çok önemlidir. Anten pozisyonuna bağlı olarak elektrik alan değişir. Bu durumda polarizasyon da değişim gösterir (Çekingen, 2011, s.11).

Gerçekleşen harekete göre polarizasyonlar çeşitlenmektedir. Genel olarak doğrusal ve eliptik polarizasyon yaygındır. Elektrik alan vektörünün yönünde bir değişikliğin olmadığı, değişimlerin genlikte meydana geldiği polarizasyon çeşidi doğrusal polarizasyondur. Eliptik polarizasyonda ise doğruısalın tersi olarak değişiklik elektrik alan vektörünün yönündedir. Aynı frekansı birçok kez kullanabilme imkânı ve yapılacak ayarlamalarla yüksek kalitede iletişim sunduğu için polarizasyon kavramı anten

parametreleri arasında önemli yere sahiptir (Güngör, 2012, s.12).

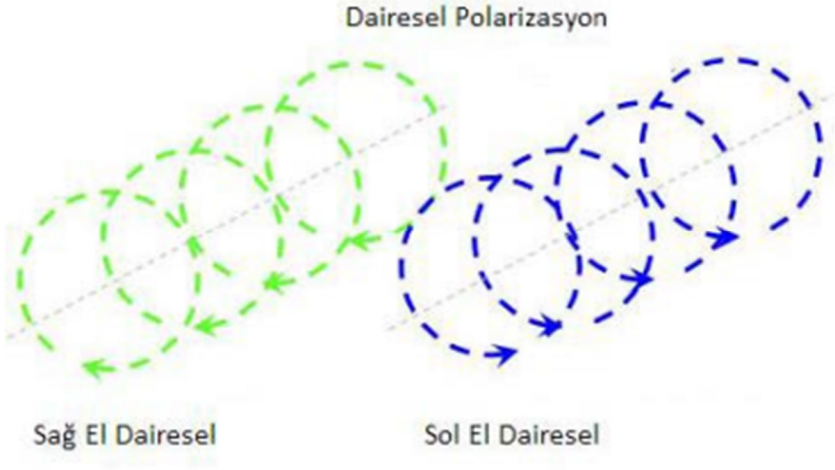
Şekil 19

Doğrusal Polarizasyon Kaynak adı. Ulusoy, 2018, s.11



Şekil 20

Dairesel Polarizasyon Kaynak: Ulusoy, 2018, s.11

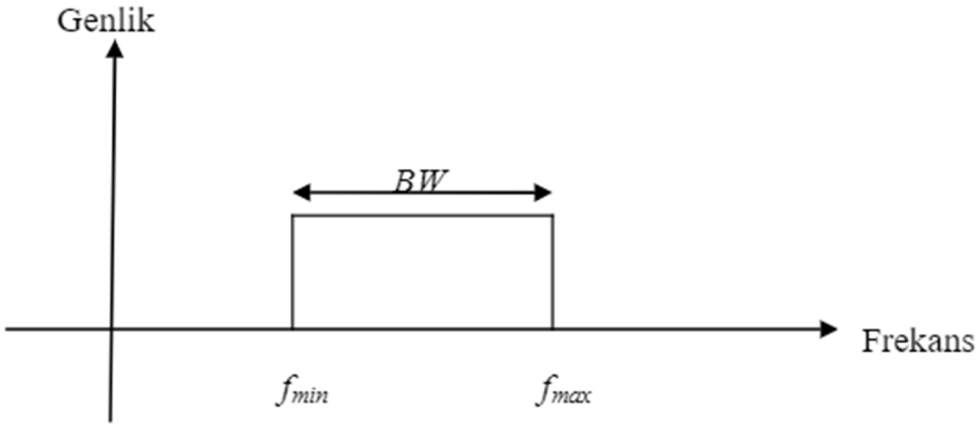


4.3.5. Bant Genişliği

Bir antenin bant genişliği antenin içinde bulunduğu frekans aralığı olarak tanımlanır (Balanis, 2005, s.70). Bir başka deyişle antenin işlevini gerçekleştirerek elektromanyetik dalgaları yayıp aynı zamanda da alabildiği frekans bant aralığına bant genişliği denir (Emin & Başbuğ, 2019, s.25).

Şekil 21

Bant Genişliği Gösterimi Kaynak: Çekingen, 2011



Bant genişliği $BW = fmax - fmin$ şeklinde gösterilir.

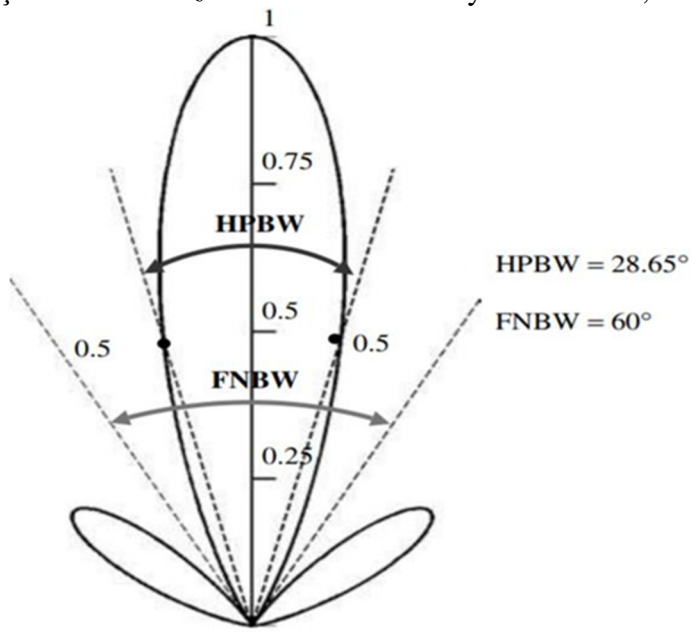
4.3.6. Hüzme Genişliği

Hüzme genişliği açısal ışıma açıklığı olarak da adlandırılır. Maksimum ışıma doğrultusu 3 dB seviyesinde yarıya düşmektedir. Bu seviyedeki açısal genişlik hüzme genişliği olarak adlandırılır. Hüzme genişliği yönlendiriciliğin bir ölçüsüdür. Açısal ışıma açıklığının boyutuna göre antenin ışık alma ve yollama kapasitesi belirlenir. Hüzmenin geniş olması daha fazla yöne sinyal gönderilip aynı şekilde alınabileceğini ifade eder (Çekingen, 2011, s. 16).

En yaygın kullanılan hüzme genişlikleri ise ilk sıfır hüzme genişliği (FNBW) ve yarım güç hüzme genişliğidir (HPBW). Hüzme genişliğinin artması yan lob seviyesini düşürür bu yönüyle önemli bir anten parametresidir. HPBW ana lob üzerinde ışıma şiddetinin yarı değerdeki açısını, FNBW ise ilk sıfır noktalarının arasındaki açıklığı ifade eder. Bu açıklık aralığında ışıma olmaz (Ulu, 2020, s.10).

Şekil 22

FNBW ve HPBW Işıma Deseni Üzerinde Gösterimi Kaynak: Balanis, 2005



4.3.7. Voltaj Duran Dalga Oranı (VSWR)

VSWR ifadesi anten sisteminin gücünün yük tarafından emilişini açıklayan terimdir ve verimlilik ile doğrudan ilişkilidir. Antenlerde besleme sisteminin çalışma performansını ve sisteme bağlı ekipmanları kontrol için VSWR kavramına dikkat edilir. Gücün yüke tamamen aktarılabilmesi için yük direnci ile kaynak direncinin maksimum uyumda olması gerekir. Aksi durumda gönderilen işarette geri yansıma dolasıyla da kayıp gerçekleşir. Empedans uyumunun olmadığı durumda gerçekleşen ileri ve geri dalgalar eş frekansta fakat farklı yönlerdedir. Bu iki dalga duran dalga oluşturur (Yang, 2020, s.15).

Başka bir ifade ile gerilim duran dalga oranı empedans uyumsuzluğundan kaynaklı antenden yansıyan enerjinin miktarını ifade eder. Duran dalgalar antende empedans uyumu yok ise gelen ve yansıyan dalgaların çakışmaları sonucunda oluşur. Voltaj duran dalga oluşumunda maksimum gerilim Vmax, minimum gerilim Vmin ve anten yansıma katsayısı Γ olmak üzere;

Vmax=1+ Γ

Vmin=1- Γ

VSWR=$\frac{Vmax}{Vmin}$ oranı ile bulunur.

Eşitlikten görülebileceği gibi yansıma katsayısının 0 olduğu durumda gerilim duran dalga oranı 1‘e, -1 veya 1 olduğu durumda ise gerilim duran dalga oranı sonsuza gider.

Yansıma kat sayısının -1 veya 1 olduğu yani sonsuza gitme durumu istenmeyen bir durum olup empedans uyumsuzluğunu ifade etmektedir.

4.3.8. Anten Verimliliği

Bir çok sistemde olduğu gibi antenlerde kayıplı sistemler oldukları için alınan gücün tamamını ışımaya aktaramazlar ya da elektromanyetik dalgalardan eriştikleri enerjinin bütününü işarete çeviremezler. Alınan enerjinin ya da sinyalin bir kısmı kayıp olarak devre dışı kalır (İpekli, 2021, s.14).

Antenler için kaynaktan çekilen güç ışıma gücü ve ısıl kayıpların toplamından oluşur. Çekilen gücün bir kısmı ısıl kayıp olarak kaybolur. Verimlilik ışıma gücünün merkezden çekilen güce bölünmesi ile bulunur. Isıl kaybın düşük olması antenler için istenilen bir durumdur (Çekingen, 2011, s. 15).

Antenlerde verimlilik hesabında kayıplar iletim hattı ile anten arasındaki uyumsuzluğun sebep olduğu yansımalardan veya I^2R kayıplarından kaynaklanan kayıplardan oluşur.

$e_{0:}$ Toplam verim

er : Yansıma verimi

ec : İletim verimi

ed : Dielektrik verimini ifade eder.

Anten verimi $e0 = ereced$ formülü ile hesaplanır. İletim ve dielektrik verimi beraber ele alınarak hesaplanır. $ecd = eced$ eşitliğine bağlı olarak $e0 = ecd.\ er = ecd.\ (1 - |\Gamma|^2)$ denklemi haline dönüşür (Balanis, 2005, s.65). Γ antenin geri dönüş kaybının sembolüdür ve $\Gamma = Zin - Z0 \div Zin + Z0$ şeklinde formülüze edilir. Zin anten giriş empedansı ve Z_0 iletim hattı karakteristik empedansıdır. Empedans uyumu sağlanırsa görüldüğü üzere Γ sıfıra eşit olur.

4.3.9. Kazanç

Aktif elemanlar da olduğu gibi antenlerin doğrudan kazanç ifadeleri mevcut değildir. Antenler için kazanç ifadesi aslında belirli bir yöndeki etkisidir (Ulusoy, 2018, s.8).

Anten kazancı İzotropik anten kazancı baz alınarak hesaplanır. Belirli yöndeki kazanç ifadesi belirli bir açıdaki ışıma yoğunluğunun izotropik anten durumunda oluşan ışıma yoğunluğuna bölünmesi ile hesaplanır (Balanis, 2005, s.66).

$Kazanç = 4\pi$ (Işıma Yoğunluğu / Toplam kabul edilen güç) formülü ile ifade edilir.

4.4. Anten Çeşitleri

Kullanıldığı ilk günden itibaren farklı amaç ve özelliklerde tasarlanan antenler değişik ölçütlere ve fiziki parametrelere bağlı olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma farklı şekillerde de yapılabilmektedir. Bu tez kapsamında temel anten yapıları kısmında tipik çalışma şartlarını benimseyen ve yaygın kullanımı olan antenlerden, özel yapı ve özelliklere sahip anten yapıları kısmında temel antenlere kıyasla yapısında özel farklılıklar bulunan antenlerden, çoklu eleman ve dizi yapısındaki anten yapıları kısmında ise dizi antenlerden ayrıntılı şekilde bahsedilecektir.

4.4.1. Temel Anten Çeşitleri

Tel, dipol, monopol ve döngü antenleri bu kısımda anlatılacak temel anten çeşitlerindendir.

4.4.1.1. Tel Antenler

Anten denilince akla gelen ilk anten tel antendir. Günlük yaşamda otomobiller, binalar ve uçaklar gibi birçok yerde kullanılan anten çeşididir. Tek bir tel ile yapılabilirliği ve hacim olarak küçük olması sebebiyle üretilen ilk anten olmasına karşın bugüne kadar gelmiştir (Balanis, 2005, s.4). Tel antenler, aşırı düşük frekans (Extremely Low Frequency - ELF) bandından, çok yüksek frekans (Very High Frequency - VHF) band aralıklarına kadar kullanılabilirler ve etraflarına eşit yoğunlukta ışıma yapma özelliğine sahiptirler.

4.4.1.2. Dipol Antenler

Dikey polarizasyona sahip olan dipol antenler orta ve yüksek güçlü uygulamalarda kullanılır. Maliyet olarak ucuz olması sebebiyle kullanımı yaygındır (Kathreın Semınar2, 2019).

Şekil 23

Dipol Anten Kaynak: Kathreın Semınar2, 2019



Dipol antenlerin katlanmış, yarım dalga boyu ve tam dalga boyu olmak üzere çeşitleri vardır. Katlanmış dipol anten paralel iki silindirik dipolden meydana gelir. Besleme tek bir kenar üzerinden merkezi olarak gerçekleştirilir. Katlanmış dipol antenin giriş empedansı ortalama 300Ω dur. 300Ω yarım dalga boyu dipol antenin giriş empedansının yaklaşık olarak dört katına eşittir (Sönmez, 2011, s.23).

Dünyada en sık kullanılan anten olan yarım dalga dipol antenin toplam uzunluğu dalga boyunun yarısı kadardır. Dipollerde uzunluk dalga boyunun yarısından fazla veya az olabilir. Dalga boyunun yarısı en iyi verimliliğe ulaşılan değerdir (Karakuş, 2018, s.83). Yarım dalga dipol anten kullanımı ve tasarımı açısından avantaj sunmaktadır. Yarım dalga dipolün anten ışıma direncinin yaklaşık 73Ω olması, 75Ω veya 50Ω olan iletim hatlarında hattın empedans eşlemesini basitleştirmektedir. Tam dalga dipol antenin ise yüksek kazanç sağlamasına karşın haberleşme sistemlerinde sık kullanımı mevcut değildir (Sönmez, 2011, s.25).

4.4.1.3. Monopol Antenler

1895 yılında Guglielmo Marconi'nin çalışmaları sonucunda ortaya çıktığı için monopol antene Marconi anten de denilmektedir. Marconi çalışmaları sırasında vericinin bir ucunu havaya yönlendirilmiş tele diğer ucunu ise toprağa bağladığında sinyal gönderimi yapılabildiğini görmüştür. Yönsüz ışımaya sahip olan monopol antenler yalıtkan levha

üzerinde dik veya iletken üzerinde temassız şekilde çeyrek dalga boyu (λ/4) olacak şekilde düz metal bir çubuktan oluşmaktadır. Anteni rezonans hale getirmek maksimum dalga alma ve iletmeye sebep olacağı için λ/4'e eşit veya λ/4'ün tam katları dalga boyu olarak seçilir (Emin & Başbuğ, 2019, s. 27-28).

4.4.1.4. Döngü Antenleri

Diğer adı çerçeve anten olan döngü antenleri kablo, boru veya iletkenlerden oluşurlar. Düşük verimlilikleri sebebiyle küçük döngülü antenler genellikle düşük frekanslarda tercih edilirler. Çoğu AM radyolar döngü antene sahiptir. Boyut olarak küçük olması sebebiyle büyük antenlerin kullanımının zorluk yarattığı durumlarda sıklıkla kullanılan döngü antenlerin kulanım alanlarından biri de telsizlerde yön bulma işlevidir. Kayıp oranı yüksek ve verimsiz olan bu antenler orta dalga boyu aralığında (520 – 1610 kHz) faydalı bir alıcı antene dönüşebilirler. Verici anten olarak kullanımı ise yok denecek kadar azdır ("Döngü Anten," 2024).

4.4.2. Özel Yapı ve Özelliklere Sahip Anten Çeşitleri

Açıklık, reflektör (yansıtıcı), mercek, mikroşerit ve horn antenler bu kısımda anlatılacak özel yapı ve özelliklere sahip anten çeşitlerindendir.

4.4.2.1. Açıklık Antenler

Teknolojik gelişmelerin vazgeçilmez sonucu olan frekans bandı yetersizliği sebebiyle yüksek frekanslarda çalışabilen cihazlar üretilmiştir. Bu üretim yüksek frekansta çalışabilen anten ihtiyacını doğurmuştur. Bu karmaşık yapılı yüksek frekanslarda çalışabilen antenlerin bir türü de açıklık antenleridir (Ahmad vd., 2022, s. 12).

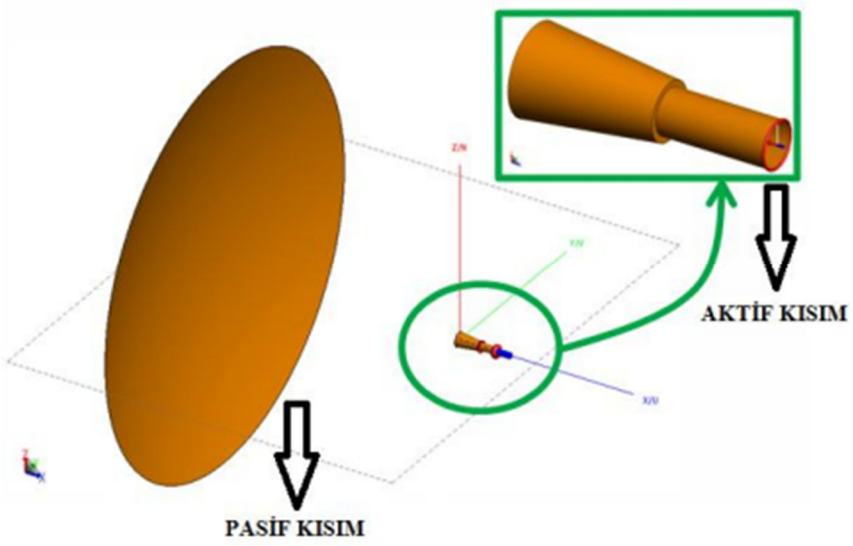
Elektromanyetik dalgaları geniş bir açıklık ile ışıma yönünde aktaran antenlerdir. Işıma paterni geniş olmamasına rağmen kazanç fazladır. Yüksek yönlülük, geniş bant genişliği ve genellikle düşük maliyetli olmaları kullanımlarını kolaylaştırmıştır. Açıklık antenleri hafif oluşları, monte ve taşıma kolaylıkları sayesinde uzay ve havacılık sanayisinde, radar sistemleri, tıbbi görüntüleme alanında sıklıkla kullanılırlar (Çekingen, 2011, s.21).

4.4.2.2. Reflektör (Yanstıcı) Antenler

Yansıtıcı antenlerin kullanılma ihtiyacı uzak mesafelere ulaştırılması gereken sinyallerden ortaya çıkmıştır. Gök cisimlerini incelemek gibi milyonlarca kilometre mesafelere alıcı ve verici sinyallerini ulaştırmak için reflektör diğer adıyla yansıtıcı antenler kullanılır (Demirhan, 2019, s.11).

Şekil 24

Parabolik Reflektör Antenin Temel Kısımları Kaynak: Güngör, 2012, s.5



Şekil 24'de görüldüğü üzere parabolik reflektör anten aktif ve pasif kısım olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Anten üzerine düşen elektromanyetik dalgaları yansıtan ve herhangi kaynak içermeyen yüzey pasif kısımdır. Aktif kısım ise beslemenin gerçekleştiği bölümdür. Kullanılan besleme anteninin çeşidi reflektör antenin kullanımına göre değişmektedir (Güngör, 2012, s. 28-30).

4.4.2.3. Mercek Antenler

Uygun yapılandırmalar ve iletime uygun malzemeler seçilerek elektromanyetik dalgaları toplamak, odaklamak veya yönlendirmek için bir mercek kullanarak çalışan, sonucunda kabul edilmeyen ışımalarının önüne geçen anten türüdür. Seçilen malzemeye ve geometrik formuna göre sınıflandırılmaktadır. Bir başka isimlendirmede lens anten olarak kabul edilirler. Mercek antenler üretildikleri malzemenin çeşidine ve geometrik şekline göre

sınıflandırılmaktadır (Demirhan, 2019, s.12).

Lens antenlerin avantajları arasında birçok alanda kullanılıyor olması, düzlemsel dalga formunun yakın mesafelerde elde edilmesinden kaynaklı laboratuvarlarda rahatlıkla test edilebilmesi, yüksek kazançlı oluşları sayılabilir. Dezavantajları arasında ise anten yapılış sırasında ultra hassasiyet gerekliliği, üretimdeki güçlük ve yüksek maliyet yer almaktadır (Alçep, 2019, s. 8-9).

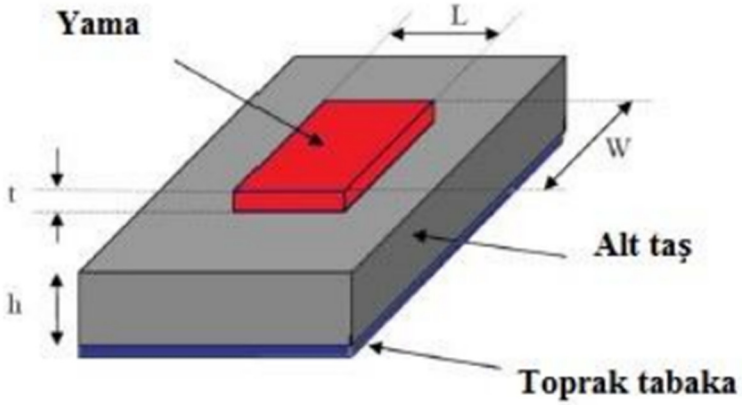
4.4.2.4. Mikroşerit Antenler

Mikroşerit antenler 1970'li yıllarda uzay tabanlı uygulamalar için popülerken günümüzde bu durum değişmiştir. Bu anten çeşidi düşük profilli, düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uyumlu, modern baskılı devre teknolojisi kullanılarak üretilmesi sebebiyle basit ve ucuzdur. Ayrıca sert yüzeylere monte edildiğinde mekanik olarak sağlam ve polarizasyon açısından çok yönlü olduğu için yüksek performanslı hava araçlarının, uyduların, füzelerin, arabaların ve sıklıkla kullandığımız cep telefonlarının bile yüzeyine monte edilebilir özelliktedir (Balanis, 2005, s.5).

Hücresel ağlarda, uydu iletişiminde, kablosuz haberleşmede birçok alan içinde günlük yaşantımızda sürekli olarak farkında olmadan kullandığımız anten çeşididir. Gelecek teknoloji perspektifinde önemli bir etkiye sahip olacağı düşünülen mikroşerit antenler yüksek bant genişliği, verimlilik ve boyut avantajı sayesinde özellikle 5G ve ötesindeki haberleşme teknolojileri için büyük öneme sahiptir (Şeker, 2023).

Şekil 25

Mikroşerit Antenlerin Genel Yapısı Kaynak adı. İmamoğlu, 2019, s.1



Şekil 25'de görüldüğü üzere mikroşerit antenlerde iletken yüzeyin üzeri tamamen

toprak ile kapatılmıştır. Diğer kısımda ise kare, dairesel, eliptik ve halka vb. şekillerde olabilecek iletken şerit koyularak iletken ışıma yüzeyi oluşturulmuştur. Antenin karakteristiğini farklı geometrik şekillerdeki iletken belirlemektedir.

Mikroşerit antenler minimal boyutlu oluşları, üretim kolaylığı, yüksek dayanıklılığı, montaj kolaylığı, tekli ve çoklu frekanslarda çalışabilirliği gibi avantajlı yanlarının yanında kazanç ve verimlilik düşüklüğü, yalıtım zayıflığı, boyuna dizi ışıma kapasitesinin zayıflığı gibi dezavantajlara sahiptirler (Emin & Başbuğ, 2019, s.29-31).

4.4.2.5. Horn Antenler

1897 senesinde Londra Royal Enstitüsünde J. Chunderbose'ın çalışmalarında görülen mikrodalga antenlerden biri olan horn antenler kablosuz iletiminin başarılı olduğu dönemlerde önemini yitirmiş olsada 2. Dünya Savaşı ile beraber tekrar odak noktası olmuştur. Dünya savaşında mikrodalga alanının gündeme gelmesi horn anten üzerine araştırmaları artırmıştır. Yüksek kazançlara sahip bu antenler 10 ila 20 dB arasında değerlere sahip olsada daha yüksek kazanç değerlerinde de tasarlanabilir (Ulusoy, 2018, s.22).

Şeklinden dolayı kornayı andırdığı için horn ismini alan antenden yönlü yayılımın gerekli olduğu uygulamalarda faydalanılır. Avantajları arasında geniş bant genişliğine sahip olmaları, dalga klavuzuna adapte kolaylıkları, yapım aşamasının kolaylığı sayılabilir (Kopmaz vd., 2019, s.127). Horn antenin dezavantajı noktasal kapsama durumunda boyutlarının büyümesi ve pratikliğini kaybetmesidir. Bu sebeple küresel kapsamlı tercih edilirler (Aydın, 2006, s.65).

4.4.3. Çoklu Eleman veya Dizi Yapısına Sahip Anten Çeşitleri

Dizi antenler ve yagi-uda antenler bu kısımda anlatılacak çoklu eleman veya dizi yapısına sahip anten çeşitlerindendir.

4.4.3.1. Dizi Antenler

Dizi antenler, tek bir elemanla elde edilemeyen radyasyon özelliklerini gerçekleştirmek için geliştirilmiştir. Dizi antenler sayesinde elektriksel ve geometrik bir düzenleme ile elemanlardan gelen ışıma, belirli bir yönde maksimum, diğerlerinde minimum olacak şekilde istenildiği gibi toplanabilir (Balanis, 2005, s.6). Dizi antenlerin kullanım

amaçları arasında bant genişliğini yükseltmek, yönlülüğünü artırmak, çıkış gücünü yükseltmek yer almaktadır. Bu amaçları elde edebilmek için anten yapısı belirli bir oran doğrultusunda tekrar eden dizilerin bir araya gelmiş halinden oluşur (Çekingen, 2011, s. 21).

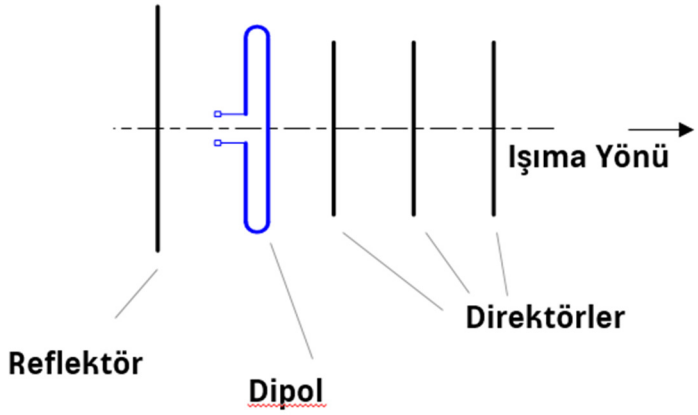
4.3.3.2. Yagi – Uda Antenler

Japonya'da Tohoku Imperial Üniversitesi'nde Shintaro Uda'nın çalışmaları sonucunda ilk tasarımı gerçekleştirilen Yagi-Uda antenleri Hidetsugu Yagi tarafından da çalışılmıştır. Paralel dipollerin oluşturduğu parazitik lineer diziye Yagi-Uda antenler denir. Farklı uygulama alanlarında tercih edilecek ışıma için tek bir anten ihtiyacı karşılamamaktadır ve dizi antenlere gereksinim duyulur. Bazı durumlarda ışıma yönünün artırılıp azaltılması veya tamamen sıfırlanması istenir. Bu gereksinimlerin sağlanması antenlerin dizilişi ve beslenmesi ile alakalıdır. Yagi-Uda antenin dizi anten şeklinde olmasının sebebi de budur. Yüksek kazanç ve basit elemanlardan oluşmaları avantajlarıdır. Kullanım frekans aralıkları 3 MHz ile 3 GHz arasıdır (Sönmez, 2011, s.26-27).

Yagi'nin anten düzeni yönlendirmeli rotaya sahiptir. Yagi anteninin yapısı reflektörler, dipol ve direktörlerden oluşur. Bu tür antenler ultra yüksek frekans (UHF- Ultra High Frequency)/VHF radarlarında ve rüzgar profilleme sistemlerinde kullanılır (Khan vd., 2016, s.3). Yagi-Uda antenleri düşük ve orta güç uygulamaları için uygun olup yüksek yönlendiricilik mümkündür. Düşük rüzgar yükü kapasitesine sahip olmaları ve buzlanmaya karşı hassas yapıda oluşları bu antenlerin kullanım alanını kısıtlamaktadır.

Şekil 26

Yagi Anten Yapısı Kaynak adı. Kathreın Semınar2, 2019



4.5. Anten Uygulamaları

İletişim sistemlerinde önemli bir yere sahip olan antenlerin belirli uygulamalar için, kullanılacak platformları, ortam şartları, çalışma sıklığı, uygulamanın niteliği gibi seçilecek olan unsurlar sistemde sorunsuz bir çalışma sağlanması açısından önem arz etmektedir**.** Elektromanyetik dalganın doğru şekilde alınıp iletilmesi görevine sahip antenler bu kısımda uygulama alanlarına göre sınıflandırılacaktır (Christodoulou vd., 2001, s.4).

4.5.1. Haberleşme Sistemlerindeki Antenler

Haberleşme sistemlerindeki antenler doğrudan linkler, uydu haberleşmesinde anten sistemleri ve yayın anten sistemleri olarak üç alt başlık altında incelenecektir.

4.5.1.1. Doğrudan Linkler

Doğrudan linkler yüksek yönlü antenler arasındaki doğrudan iletim bağlantılarını ifade eder. Bahsi geçen bağlantılar röleler vasıtasıyla iki anten arasında, hücresel iletişim kapsamında bir kule ile mobil anten arasında, uydu iletişimi şeklinde uydu ile karada bulunan bir anten arasında veya iki uydu anteni arasında kurulabilir. 1 gigahertz (GHz) ve 25 GHz arasındaki frekanslarda aktif çalışma gösterirler (Christodoulou vd., 2001, s.4). Direkt bir bağlantı sağlandığı için gecikmeler minimum düzeydedir. İletişim sistemlerinde performansı artırdığı ve güvenli bir ağ oluşturduğu için uzun mesafelerde ve kritik uygulamalarda sıklıkla tercih edilirler.

4.5.1.2. Uydu Haberleşmesinde Anten Sistemleri

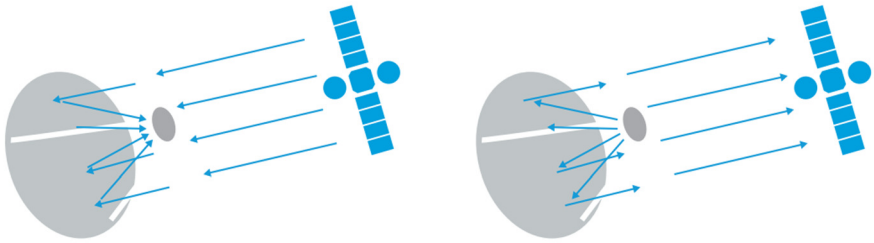
Arthur C. Clarke'in 1945 yılında "Wireless World" dergisinde yayınlanan makalesinde öne sürdüğü uydular yardımıyla iletişim düşüncesi başlangıçta gerçekçi bulunmamıştır. 1957 senesinde uzaya gönderilen ilk uydu Sputnik'in uzaya gönderilmesiyle birlikte bu fikir gerçeğe dönüşmeye başlamıştır. Sputnik, çalışmaları hızlandırması yönünden uydu haberleşmesinde önemli bir değere sahiptir. Bu tarihten itibaren uydu haberleşmesinde önemli gelişmeler olmuştur (MEB, 2013, s. 3).

Uydu haberleşmesinde antenler yer istasyonlarının uyduya güçlü ve kararlı bağlantı kurabilmesi için kullanılır. Geniş açılı antenler ve yüksek güçlü mikrodalga sinyaller gereklidir. Ters yönde yer istasyonlarının da uydudan gelen zayıf sinyaller için geniş

açıklıklı parabolik antenlere ihtiyacı vardır (MEB, 2013, s.8).

Şekil 27

Uydu Haberleşmesinde Antenlerin Fonksiyonel Gösterimi Kaynak: Aslan vd., t.y., s. 58



Şekil 27.a **Şekil 27.b**

Uydu haberleşmesinde antenlerin çalışma şekli yukarıda da belirtildiği gibi iki yönlü olarak gerçekleştirilir. Birinci seçenek olarak şekil 27.a'da görüldüğü üzere gelen sinyali uyduya şekil 27.b'de görüldüğü şekliyle ise uydudan gelen sinyalleri birleştirerek antene iletir (Aslan vd., t.y., s. 58).

Uydu haberleşmesinde kullanılan bazı kavramlar şu şekilde sıralanabilir.

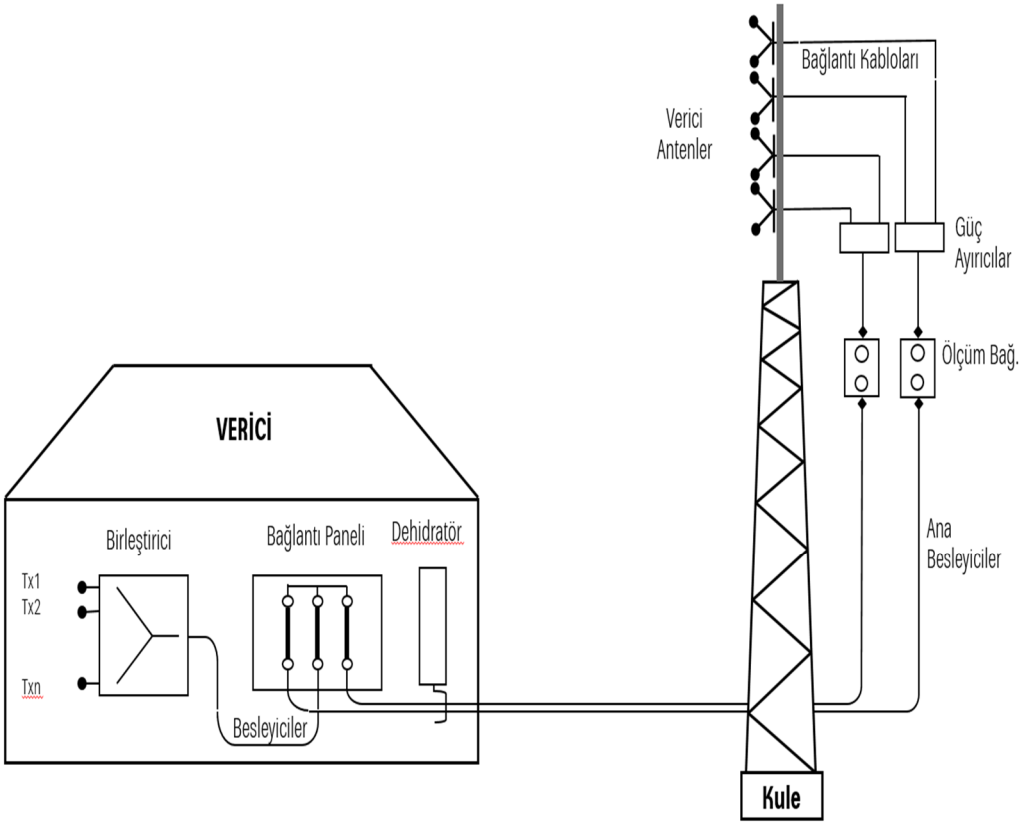
- Azimuth: Bir antenin gerçek kuzeye göre yatay açıdır. Pusuladan bakıldığında, 0 derece kuzeyi, 180 derece ise güneyi gösterir. Antenin yatayda uyduya bakması gereken doğrultu veya çanak antenin döndürülmesiyle oluşan açı olarak da tanımlanabilir.
- Bakış açısı: Çanak antenin uyduya baktığı açıdır.
- Yükselme açısı: Çanak antenin yukarı aşağı hareketi sonucu oluşan açıdır (MEB, 2012, s.5).
- Transponder: Yer istasyonlarından uyduya iletilen sinyallerin uydu içerisinde işlenip farklı bir frekansa dönüştürülerek tekrar karasal istasyonlara veya kullanıcılara iletilmesini sağlayan cihaza denir (Baygüneş, 2022, s.20).
- Uplink ve Downlink: Uplink, yer istasyonundan iletişim uydularına gönderilen sinyalleri ifade eder. Yer istasyonundan uyduya gönderilen uplink sinyalleri uyduda güçlendirilerek geri gönderilir bu tersine işleme downlink denir. Uplink kara, deniz yada mobil gibi farklı ortamlardan olabilir (Baygüneş, 2022, s.19).

4.5.1.3. Yayın Anten Sistemleri

Yayın anten sistemleri bir kule üzerinden birçok yayının sağlıklı bir şekilde iletilmesini sağlar.

Şekil 28

Yayın Anten Sistemi Bileşenleri Kaynak: Kathreın Semınar3, 2019



Şekil 28'de görülen yayın anten sistemi bileşenleri başlıklar halinde açıklanacaktır.

4.5.1.3.1. Filtreler

Yayın anten sistemlerinde önemli kısımlar arasında filteler ve birleştiriciler bulunmaktadır. İstenmeyen ışımaları elemek, doğru frekans aralığını seçmek, tek anten kullanımında birden fazla kanalı bir araya getirmek gibi amaçlar ile filtre ve birleştiriciler kullanılır. Yayın sistemlerinde kullanılan filtreler birkaç λ/4 rezonatörün birleşimi olarak düzenlenmiştir. Rezonatörler için önemli olan Q faktörüdür. Q faktörü kullanılan malzemenin iletkenliğinden ve elektriksel verilerden etkilenir. Ortak anten sistemlerinde filtreler ve birleştiriciler arasındaki ilişki fazladır.

Bir ortak anten yapısında vericiler arasındaki minimum mesafenin belirlenmesinde belirleyici faktör filtrelerdir. Örneğin frekans aralığı darsa, filtrelerin de benzer şekilde, çok dar bir şekilde ayarlanması gerekir. Filtrelerin dar dizilimi ise kaybın artmasına sebep olur. Kayıp daha büyük hacimli ve nispeten daha düşük eklenmiş kayba sahip filtrelerin kullanılmasıyla önlenebilir. Görüldüğü gibi uygulanacak uygulama çerçevesinde gerekli ayarlamalar yapılmak zorundadır (Kathreın "*Combiners and Filters for FM Broadcast and TV Systems"*, t.y., s.7).

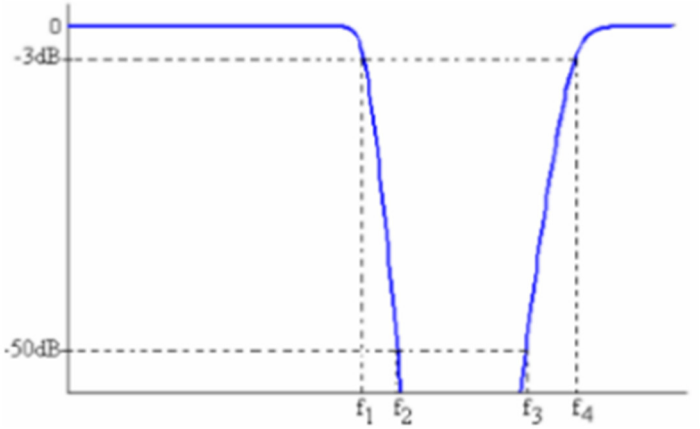
Ortak anten sistemlerinde kullanılan filtreler, sistem verimliliğini artırmak, istenmeyen sinyalleri azaltmak ve iletişim kalitesini iyileştirmek için kritik bir rol oynarlar. Farklı filtre türleri, belirli bir uygulamanın gereksinimlerine ve sistemdeki diğer bileşenlere bağlı olarak kullanılır. Ortak anten sistemlerinde kullanılan filtreler iki grup halinde incelenecektir.

Bant geçiren filtreler dar bir frekans aralığı dışındaki sinyalleri zayıflatmak için kullanılır. Birleştiricilerde yan bantlardaki gürültüyü azaltarak kaliteyi artırdıkları, birbirlerine mesafe olarak yakın vericiler arasındaki izolasyonu sağladıkları ve vericiler arası bağlantı kurdukları için önemli bir konuma sahiplerdir. Fabrika ayarlı olarak gelen bant geçiren filtreler VHF ve UHF frekans bantlarında da ayarlanabilirler. Bant geçiren filtreler, ayarlanabilir bağlama özelliğine sahip olan koaksiyel rezonatörden oluşur. Rezonatörler, belirli bir frekans veya frekans aralığındaki sinyalleri geçiren veya reddeden elemanlardır. Her rezonatör, bir ucunda açık devre diğer ucunda kısa devre olan bir yapıya sahiptir. Ayarlama işlemi, her rezonatörün alt ucundaki dairesel merkezi iletkenin döndürülmesiyle gerçekleştirilir. Koaksiyel giriş ve çıkış hatları, manyetik bağlama döngüleri vasıtasıyla ilk ve son rezonatöre bağlanır (Elti "TV filters", t.y., s.1).

Bant durduran filtreler belirli sinyalleri düşürerek engelleyen ayarlı frekans dışındaki sinyalleri geçiren filtre çeşididir**.**

Şekil 29

Bant Durduran Filtre Kazanç- Frekans Eğrisi Kaynak: Arslan, 2020, s.36



Şekil 29'da görüldüğü üzere f_2 ve f_3 frekans aralığı zayıflatılmış diğer aralıklar için filtreleme yapılmayarak aktarımına izin verilmiştir. Ortak anten sistemlerinde kullanılan bant engelleyen filtreler, frekans aralığı yakın olan vericilerin veya alıcıların birbirlerine karışmasını önler. Bu filtreler, her bir cihazın yaydığı veya aldığı frekans aralığının dışındaki sinyalleri engelleyerek oluşabilecek enterferansın önüne geçer.

4.5.1.3.2. Birleştiriciler

Birleştiriciler, filtreler veya uzatma hatları gibi frekans seçimli durumlarda, bağlantılar ve noktalar gibi düğüm bağlantı elemanlarıyla oluşturulan kombinasyondur. Yüksek kaliteli birleştiricilerde tercih edilen filtre türü bant geçiren filtrelerdir (Kathreın "*Combiners and Filters for FM Broadcast and TV Systems"*, t.y., s.7).

Şekil 30

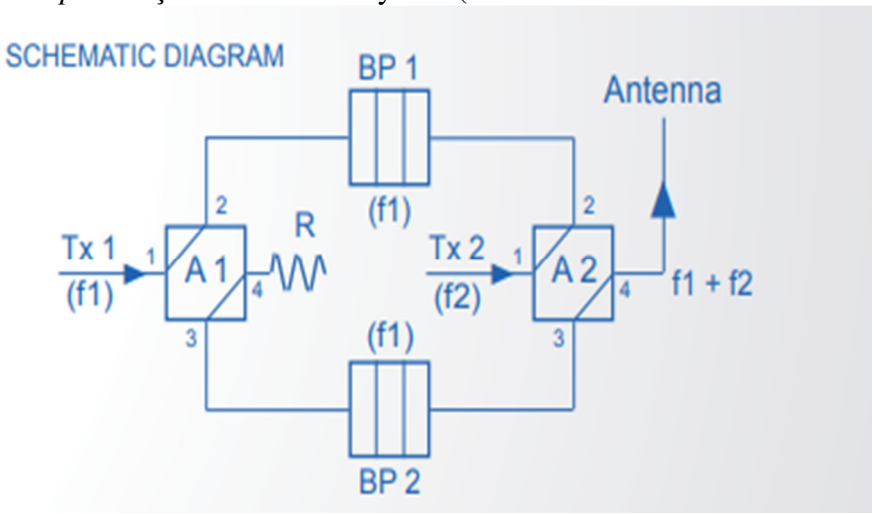
FM Birleştirici Sistemi Kaynak: "Kule A.Ş." Türkiye'de Özel Yayıncılığın Başlangıcı Gelişimi Ve Bir Başarı Hikayesi Çamlıca, s.17



FM yönlü filtre tipi birleştiriciler ile FM star tip birleştiricilerin çalışma prensipleri şu şekildedir.

Şekil 31

FM Yönlü Filtre Tipi Birleştirici Sistemi Kaynak: (KATHREIN CATALOGUE 19, s.33)



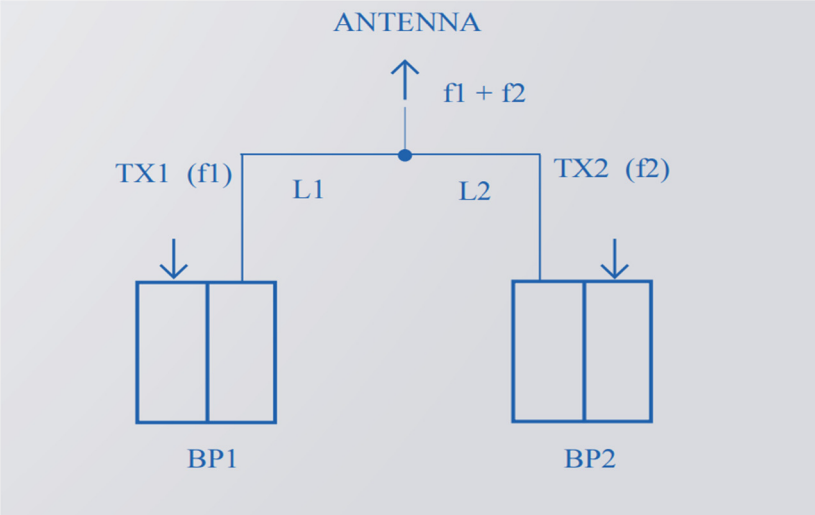
FM yönlü filtre tipi birleştirici sistemlerde verici tarafından üretilen f1 frekans değerine sahip sinyal şekil 31'de görüleceği üzere A1 kuplörünün dar bant girişi olarak adlandırılan 1 numaralı noktasına gelir. Kuplör ifadesi birleştirici kelimesi ile eşleşmektedir. Gücü ikiye bölen 3 dB A1 kuplörü gücü 2 ve 3 numaralı portlara bölerken 4 numaralı port

emici yük portudur ve herhangi bir güce sahip değildir. BP1 ve BP2 bant geçiş filtreleridir. İki yarım güç sinyali bu portlara gelir ve A2 kuplörünün 2 ve 3 numaralı portlarına aktarılır.

İki yarım sinyal arasındaki faz farkından dolayı toplanarak A2'nin 4 numaralı çıkışında F1 verici gücünün tamamı giriş kaybı hariç aktarılmış olur. F2 frekanslı sinyal A2 kuplörünün 1 numaralı portuna aktarılır. Sinyal, 3 dB birleştirici tarafından ikiye bölünür ve bant geçiren filtrelere doğru akar. Diagram F1 frekansına ayarlı olduğu için A2 kuplörüne gelen F2 frekanslı sinyal bant geçiren filtreler tarafından reddedilir ve bir önceki durumda olduğu gibi toplanarak antene aktarılır. Böylece, her iki verici sinyali de çıkışta toplanır (KATHREIN CATALOGUE 19, s.33).

Şekil 32

FM Star Tipi Birleştirici Sistemi Kaynak: KATHREIN CATALOGUE 19, s.33



Star tipi birleştiriciler temel olarak paralel bağlantıdan oluşur. Uygun bant geçiren filtreler boyunca ortak bir anten sistemine birden fazla vericinin bağlanabilmesine olanak sağlayan bir sistemdir. Paralel bağlantılar kritik uzunluktaki koaksiyonel hatlar ile sağlanmıştır. Bir başka deyişle yıldız tipi birleştiriciler, birkaç vericiyi uygun band geçiren filtreler ile tek bir anten sistemine paralel bağlayarak oluşur. Her biri bağlandığı verici frekansına ayarlanmıştır. TX1 tarafından üretilen radyo frekans (RF- Radio Frequency) gücü, filtre görevi yapan BP1'den sistemin merkezi C'ye geçer, buradan da antene bağlanır. TX1'den toplam gücün antene aktarılması için, TX1 frekansında TX2'nin kısa devre, yıldız kavşağı merkezinde ise L2 bağlantısı aracılığıyla açık devreye dönüştürülmesi gerekir. Aynı şey durumun tersi içinde geçerlidir (KATHREIN CATALOGUE 19, s.33).

4.5.1.3.3. Besleme Hatları

Sistemdeki kısımlar arasında geçişleri sağlayan hatlardır. Ana besleme hatları, verici binasından antene TX enerjisini taşımak amacıyla kullanılır. Bu hatların, antenin VSWR'sini minimum düzeyde etkilemesi ve düşük kayıplarla enerji iletimi sağlaması istenmektedir. İstenen bir başka özellik ise ana hatların esneklik kabiliyetinin olmasıdır. Bu hatlar vericiden antene doğru giderken kıvrılmalara ve bükülmelere maruz kalabilir. Ayrıca kritik işlevi ve dışa açık yapısı sebebiyle ağır iklim şartlarına uygun olması gerekmektedir. Koaksiyel kablo tercih edilmesinin sebepleri monte aşamasının kolay oluşu, düşük VSWR ve düşük kayıp özelliği, iklim koşullarına dayanıklı oluşu, eşleşme yüzeyi contasına sahip oluşu ve korozyona karşı korumalı yapısıdır (Kathreın Semınar3, 2019).

Dal besleme hatları RF enerjisinin anten içinde, ana bölücüler, alt bölücüler ve antenler arasında taşınması için kullanılır. Dal besleme hatları düşük VSWR, esnek ve kolay kurulum, ayarlanabilir faz gibi özelliklere sahiptir.

4.5.1.3.4. Güç Ayırıcılar ve Ölçüm Bağlantıları

Güç bölücüler veya diğer bir ifade ile güç ayırıcılar paralel olacak şekilde sayıca çok anten bileşenini beslemek amacıyla RF enerjisini porsiyonlara ayırmak için kullanılır. Ölçüm bağlantıları, ana besleme hattı bağlantılarını açmadan anten ve besleyici ölçümleri yapma imkânı sağlayan bölümdür (Kathreın Semınar3, 2019).

4.5.1.3.5. Dehidratörler

Dehidratörler, besleyiciler için gerekli kuru hava ihtiyacını karşılarlar. Kontrol sağlama için alarm kontakları barındırmaları, nemli iklim koşullarında ve rakımlı alanlarda güvenlik sağlamaları dehidratörlerin avantajları arasında sayılabilmektedir (Kathreın Semınar3, 2019).

4.5.1.3.6. Dünya ve Türkiye'deki Ortak Anten Sistemi Örnekleri

Birçok ülkede teknolojinin gelişimiyle beraber plazaların artması mevcut televizyon ve radyo vericilerinin çalışma kapasitesini azaltmıştır. Ayrıca görüntü kirliliği ve çevresel faktörler ortak kule sistemine geçme gereksinimi doğurmuştur. Çağımızda antenlerin görüntü kalabalığının engellenmesi, seyir terasları oluşturulması için birçok metropolde

televizyon (TV) kulesi inşa edilmektedir. Türkiye'de Çamlıca ve Çanakkale Kuleleri, Japonya Tokyo'daki Skytree, Çin'deki Kanton Kulesi, Kanada Toronto CN Kulesi bu yapılara örnek verilebilir. 100 ile 600 metre aralığında değişen ölçülerdeki TV kuleleri mevcuttur (Kılıç, t.y, s. 2).

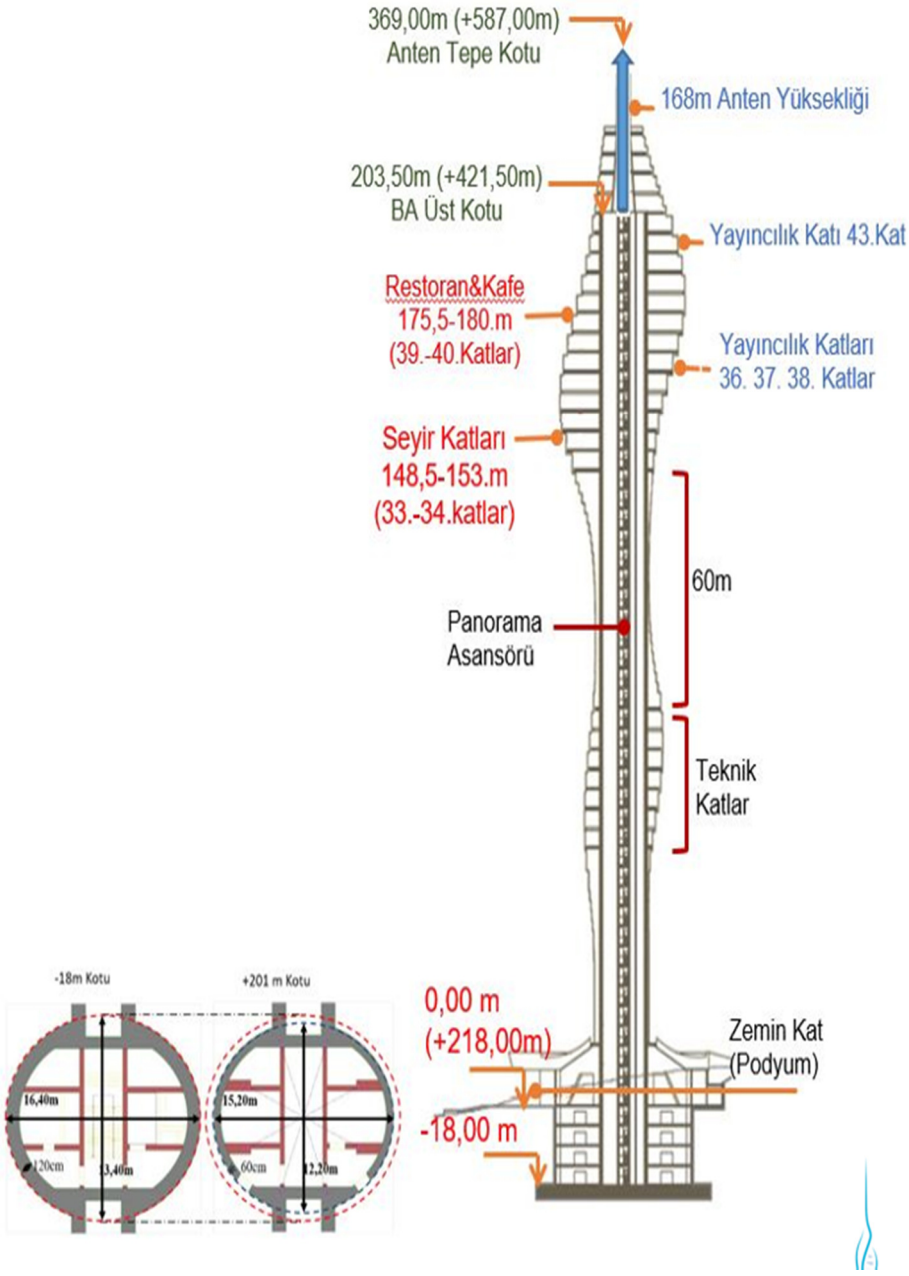
Çamlıca Kulesi: Çamlıca Kulesi İstanbul ili Üsküdar ilçesinde bulunan televizyon ve seyir kulesidir. 2011 yılında yapılan Çamlıca Tepesi TV Radyo Kulesi Fikir Projesi Yarışması'nda dereceye giren projenin tamamlanması 2020 yılını bulmuştur. 29 Mayıs 2021 tarihinde açılan kule seyir keyfide sunmaktadır ("Çamlıca Kulesi," 2024).

Kule A.Ş. Genel Müdür Yardımcısı Burhan Kandemir'in Radyo ve Televizyon Üst Kurulu'nda aday memurlara ilişkin yaptığı sunumda kulenin İstanbul için önemini belirten ifadeleri aşağıda verilmiştir.

"İstanbul'da bulunan 100 adet FM radyo yayınlarını 5 farklı anten sisteminden veriyoruz. Böylelikle bütün yayıncılar eşit şartlara kavuşmuş bir şekilde yayın yapabiliyorlar. Dünya'da 100 adet radyo frekansının bir arada, birbirlerine karışmadan kesintisiz yayın yapabilmelerini sağlayan tek kuleyiz. Radyolarımız ile birlikte 17 ulusal televizyon kanalımız da kulemizden hizmet almaktadır. Bütün yayınların yeni kuleye taşınması ile Üsküdar'da dağınık şekilde yer alan 33 eski direklerin hepsi kaldırılarak İstanbul'daki görüntü kirliliğine de son verilmiş oldu. Bununla birlikte bölgeye yeni bir siluet kazandırılmış oldu. Aynı zamanda kule ile birlikte kule civarındaki elektromanyetik belirgin bir şekilde azalırken, dağınık halde bulunan verici ve antenlerin tek bir sistem çatısı altında birleştirilmesiyle enerji verimliliğini sağlamış olduk. Böylece enerji giderleri üç kat azaltılmış oldu." (RTÜK, 2021).

Şekil 33

Çamlıca Kulesi Teknik Özellikleri Kaynak: "Kule A.Ş." Türkiye'de Özel Yayıncılığın Başlangıcı Gelişimi Ve Bir Başarı Hikayesi Çamlıca, s.9



Toplamda 49 kata sahip olan kule yapısal olarak 387 metre, denizden yükseklik olarak ise 587 metre yüksekliğe sahiptir. 33 ve 34. katlar seyir katları olarak kullanılırken 39 ve 40. katlar restoran bölümüdür. 168 metre anten yüksekliğine sahip olan Çamlıca Kulesi 100 adet FM yayınının bir arada olduğu tek kule özelliğine sahiptir.

Çamlıca kulesinin başarılarını dört madde halinde aktarabiliriz. Birinci fayda olarak kuleden önce mevcut konumda bulunan 33 adet demir direk kaldırılarak İstanbul siluetine fayda sağlanmıştır.

Şekil 34

Çamlıca Kulesi Öncesi ve Sonrası İstanbul Silüeti Kaynak: "Kule A.Ş." Türkiye'de Özel Yayıncılığın Başlangıcı Gelişimi Ve Bir Başarı Hikayesi Çamlıca, s.32



İkinci fayda olarak kuleden önceki durumda bölgedeki elektromanyetik alan ölçüsünün eşik değerinden fazla olmasına karşılık kuleden sonra değerin eşik değerinin üçte biri seviyesine ulaşmasıdır. Matematiksel olarak on beş katlık bir düzelmeye karşılık gelmektedir. Üçüncü yarar her biri 5 kW olan 100 yayının birbiri arasında enterferansa sebebiyet vermeden tek bir kulede yer alabilmesidir. 100 radyo haricinde 17 ulusal TV kanalı da kule bünyesinde var olmaktadır. Son başarı maddesi olarak ise 33 adet demir yığınının tek bir kuleye alınması sonucunda elde edilen enerji tasarrufudur. Tek bir sistem çatısı altında verimlilik sağlanmıştır. Enerji giderleri geçmişe kıyasla üç kat azalmıştır.

Çanakkale TV Kulesi: Radyo ve TV vericileri kapsama alanını genişletmek amacıyla yüksek konumlara yerleştirilir. Tepelerin seçimindeki önemli noktalar arasında ulaşım, enerji ve güvenlik gelmektedir (Çağlar, 2013, s.77). Bu sebeple Çanakkale ilinde bulunan vericilerin çok büyük bir bölümü kule yapımından önce konumu yüksek olan Radartepe mevkiinde bulunmaktaydı. Radartepe mevkiinde aynı zamanda Hava Kuvvetleri Komutanlığına ait Hava Radar Üssüde bulunmaktadır. Hava radar üssündeki alıcı ve vericilerin radyo ve televizyon vericileri tarafından enterfere edilmesi, aynı zamanda Çanakkale'nin sınır bölgede olması sonucu Yunanistan'dan gelen radyoların bölgedeki radyoları etkilemesi gibi sebeplerden dolayı bölgede ortak anten sistemi kurularak kule üzerinden yayın yapılması fikri kabul edilmiştir. 98 metre yüksekliğe sahip olan kulenin

projesi uluslararası bir yarışma sonucunda ortaya çıkmıştır. Kule şuan 312 metre yüksekliğindeki Radar Tepesi konumunda bulunmaktadır. TV ve radyo verici kısmı dışında bünyesinde restoran ve kültür merkezi de barındırmaktadır. Kule 2021 yılında hizmete başlamıştır ("Çanakkale Televizyon Kulesi," 2024).

Kanton Kulesi: 2005-2010 yılları arasında yapımı süren ve 2010 Asya oyunları ile açılan Kanton Kulesi Çin'in Guangzhou şehrinde bulunur. 600 metre yüksekliğindeki televizyon kulesi günümüzde Çin'in ikinci en yüksek yapısı olarak geçmektedir. Dünyanın üçüncü en yüksek binası olma ünvanını taşımaktadır ("Kanton Kulesi," 2024). Şehri izleme imkanı sunan alanlar ve skywalk olarak adlandırılan cam yürüyüş alanları bulunmaktadır.

Tokyo Skytree: Kulenin yapılış sebebi televizyon yayıncılığının gelişmesiyle beraber ülkede yayıncılık alanında ihtiyaçların artmış olmasıdır. Tokyo kulesinin çevresinde sinyallerin iletimine engel büyük binalar olduğu için yeni bir kule fikri ortaya çıkmıştır. Tokya'da bulunan altı TV yayıncı şirketi bu ihtiyacı karşılamak için çalışmalara başlamıştır (Mandujano, 2016. s.12).

Şekil 35

Tokyo Skytree Kaynak: "Tokyo Skytree," 2024



634 metre uzunluğundaki kule radyo ve televizyon yayın ve iletişim kulesi olarak kullanılmaktadır.

CN Kulesi: Toronto da bulunan kulenin yapılış amacı ihtiyaçtan doğmuştur. 1970'li yıllarda bölgede inşaat sektörünün gelişmesiyle beraber gökdelenlerde artış görülmüştür. Öncesinde konumlandırılan verici kuleleri yetersiz kalmış TV yayınlarında kalitesiz bir görüntü oluşmuştur. TV ve radyolarda görüntü ve netlik hataları, sinyallerin yansıma yapması, oluşan enterferanslar gibi nedenler kapsamında çözümün mevcut binalardan çok daha yüksek bir anten sistemiyle olacağı kararına varılmıştır ("CN Tower," 2024). Kanada Ulusal Demiryolu Şirketi tarafından yapılan 553 metre yüksekliğindeki bina dünyada yüksek olarak akla gelen binalardandır ("CN Kulesi," 2024). Yayıncılık anlamında VHF, UHF ve TV için önemli bir merkezdir. FM vericileri de bulunduran kule yayıncılıktaki sorunları büyük ölçüde çözmüştür.

BÖLÜM 5

MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

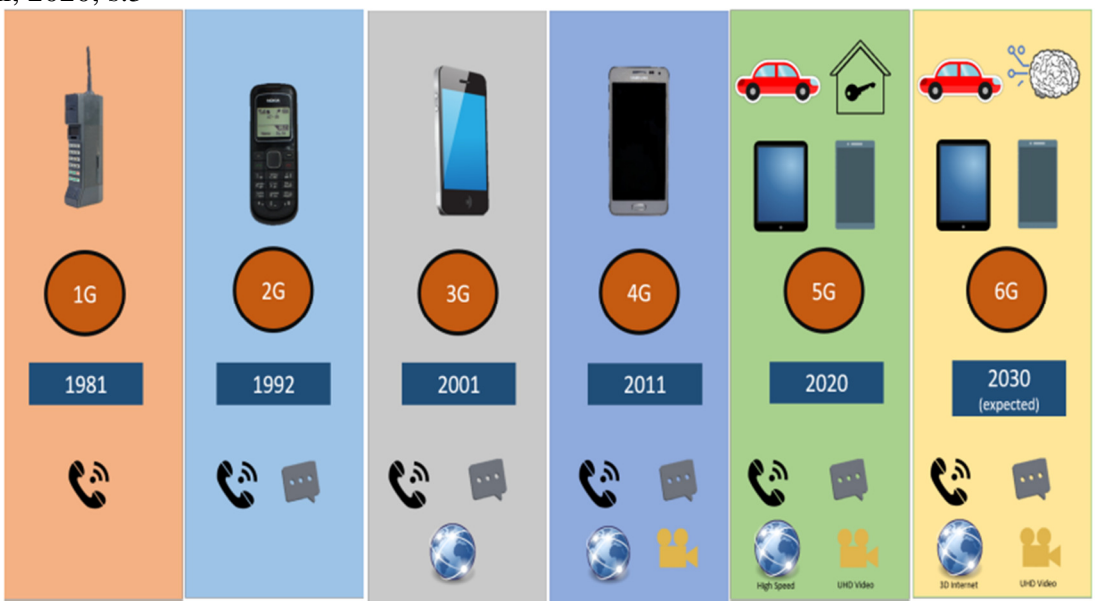
Haberleşme mühendisliğinde mobil kavramı hareket edebilme yetisine sahip olarak diğer uç ile kablosuz bağlantı sağlayan radyo terminalini belirtmek için kullanılır. Mobil haberleşme hareket etme avantajı sayesinde kullanıcı kısımda tıpkı cep telefonlarında olduğu gibi birden fazla işi bir arada yapabilme özelliği sağlamaktadır (Mitra, 2009, s.1).

Mobil iletişim, modern tarihte en başarılı teknolojik yeniliklerden biri olmuştur. Son beş yılda, hücresel ağlar büyük sıçrama yaşamıştır. Bu ağlar, multimedya, çevrimiçi oyunlar ve yüksek kaliteli video yayını gibi veri odaklı hizmetler sunmaktadır (Alsharif, 2017, s.617).

Günümüzde konserlerde canlı yayın imkanı sunan, yüksek çözünürlükte videoları anlık ve istenilen yerde izleme ortamı oluşturan, 1980'lerde sesle tanıştığımız mobil iletişim araçları hızla evrim geçirerek hayatımızın önemli bir parçası olmuştur. 1973 yılında elde taşınabilir telefonların öncüsü kabul edilen Martin Copper'ın öncü rol oynadığı ekibin çalışmaları ile taşınabilir cep telefonlarının tasarımı ile mobil haberleşme içinde önemli olan döneme girilmiş olmuştur. Yani haberleşme gereksiniminin gün geçtikçe büyümesi mobil ağ gelişimini de aynı ölçüde etkilemiştir (Görgün, 2022, s.1).

Şekil 36

1G ile 6.Nesil (6G- 6th Generation) Arası Kablosuz Haberleşme Evrimi Kaynak: Chataut & Akl, 2020, s.3



Mobil iletişim için hücresel kavramının gelişmesi frekans bandının daha verimli hale gelmesini ve kapasitenin artırılmasını sağlayan teknolojileri hayata geçirmiştir (Görgün, 2022, s.1).

Hücresel haberleşme teknolojilerinde kullanılan "G" ifadesi İngilizce'de nesil anlamına gelen "Generation" kelimesinin baş harfinden gelmektedir. Çağımızda mobil haberleşme zaman ve mekan tanımaması sayesinde insanlar tarafından sıklıkla kullanılan ve vazgeçilmez hale gelen sistemler bütünüdür.

5.1. Birinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (1st Generatıon - 1G)

Başlangıçta tüm kablosuz haberleşmeler ses odaklıydı. 1966'da Bell Labs, dijital radyo sistemlerinin üretim maliyetinin çok fazla olması sebebiyle yüksek kapasiteli bir mobil sistem için analog sistemler üzerine çalışmaya başlamıştır. FM radyoları ile analog bir sistem seçilmiştir. 1983'te, ABD tarafından hücresel sistem gelişmiş ve mobil telefon servisi (AMPS-Advanced Mobile Phone System) olarak adlandırılmıştır. AMPS o zamanlar 1G olarak isimlendirilmiştir (Rodriguez, 2015). 1970'lerin sonlarında duyurulan bu ilk nesil mobil iletişim, AMPS Kuzey Amerika'da, Nordik Mobil Telefon (NMT-Nordic Mobile Telephone) İskandinavya'da, Toplam Erişim İletişim Sistemi (TACS-Total Access Communication System) Birleşik Krallık'ta ve Japonya'da Toplam Erişim İletişim Sistemi (JTACS-Japan Total Access Communication System) gibi ana abonelere sahipti. 1G teknolojisi, temel olarak ses iletişimi için tasarlanmış analog bir sistemdi. FM ve frekans bölümleme çoklu erişim (FDMA-Frequency Division Multiple Access) iletim teknolojisi kullanıyordu ve 2.4 kilobit/saniye (kbps-kilobit per second) kadar veri hızı sağlıyordu (Alsharif, 2017, s.618).

Ancak, bu teknolojinin bazı dezavantajları bulunmaktaydı.

- Sürekli yani analog bir işaretin özelliklerinin taşıyıcı dalgaya bağlı olarak değişmesine analog modülasyon denir. 1G teknolojisi analog modülasyon nedeniyle yüksek kaliteye ulaşamamakta ve haberleşmede güvenlik riskleri barındırmaktadır.
- FDMA tekniğinin kullanılması nedeniyle abone sayısında sınırlılık mevcuttur. FDMA tekniğinde her kullanıcının tek bir kanalı kullanması gerekliliği kullanıcı sayısının artması durumunda aynı anda aynı frekans bandının kullanımını zorlaştırır.
- Baz istasyonların güvenliği için potansiyel risk oluşturması olumsuzluk yaratır.

- Birleşik bir uluslararası standarda uygun olmayan sistemlerin var olması ise bir diğer dezavantajıdır (Alsharif, 2017, s.618).

Şekil 37

1G Teknolojisinin Teknik Özellikleri Kaynak adı. Çil, 2021, s.4

Teknoloji	Aşağı Bağlantı (kbit/s)	Yukarı Bağlantı (kbit/s)	Çalışma frekansı (MHz)	Band Genişliği (KHz)	MIMO	Modülasyon	Çoklu Erişim	Çiftleme Modu
AMPS	2.4	2.4	800-900	30	-	FM	FDMA	FDD
TACS	2.4	2.4	450	25	-	FM	FDMA	FDD
NMT	1.2	1.2	450	25	-	FM	FDMA	FDD

Şekil 37'den görüleceği üzere 1G'nin MIMO desteği bulunmamaktadır.

5.2. İkinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (2nd Generatıon - 2G)

1G'nin dezavantajları, servis ve abone taleplerinin artması, haberleşmede yüksek kalite gereksinimi gibi nedenlerden ötürü 2G sistemleri 1990'lı yılların ilk evresinde kendini göstermiştir. İlk kullanım döneminde ses iletişimi için kullanılsa da zamanla SMS ve veri iletimi için kullanılmaya başlanmıştır. Mobil İletişim için Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications, GSM) gibi temel standartlar 1991'de Finlanda'dan başlayarak zaman için yaygın bir kullanım ağına erişmiştir (Geylani vd., 2016, s.609). Bu evrensel standartlar dünyanın farklı koordinatlarından tek bir hat üzerinden telefon ile iletişimi sağlamaktadır. Teknik açıdan FDMA ve Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA, Time Division Multiple Access) yöntemlerini bütünleyen GSM 1800-1900 MHz frekans aralığında kullanılırken Afrika gibi kısımlarda 450 MHz gibi düşük frekanslarda da kullanılabilir (Çil, 2021, s.4).

FDMA ve TDMA yöntemleri kanal erişim yöntemleridir. Çoklu erişim yöntemi olarak da adlandırılan kanal erişim yöntemleri aynı iletim ortamında birden fazla terminalin veri aktarımını ve kapasite paylaşımını sağlamaktadır. Ortak ortamlar arasında kablosuz ağlar, veri yolu ağları, çift yönlü iletişim sistemleri örnek verilebilir. FDMA, farklı veri akışlarına ayrı frekans bantları sağlayarak frekans bölmeli çoğullama prensibine dayanır. Bu yöntemde, frekans bantları farklı düğümlere veya cihazlara ayrılarak kullanılır. TDMA, zaman bölmeli çoğullama

ilkesine dayanarak çalışır. TDMA, dönüşümlü olarak tekrar eden bir çerçeve yapısı içinde farklı vericilere ayrı zaman dilimleri sağlar (“Kanal erişim yöntemi,” 2024).

Var olan altyapı şartlarının 2G’ye olan talebi karşılamaması sonucunda bir üst versiyon olan Yüksek Hızlı Devre Anahtarlamalı Veri (High Speed Circuit Switched Data, HSCSD) sistemine geçiş yapılmıştır. HSCSD teknolojisi, her kullanıcıya daha fazla zaman dilimi tahsis ederek hızı artırır. Bu sayede, daha yüksek hızlar elde edilir (Taşpınar vd., 2001, s.23).

Bu sistem devre anahtarlama yöntemini kullandığı için veri transferinde yaşanan problemler nedeniyle paket anahtarlama tekniğine geçiş yapılmış olup 2.5G (2.5th Generation) teknolojisinin kullanımı başlamıştır (Geylani vd., 2016, s.609).

Şekil 38

2G Teknolojisinin Teknik Özellikleri Kaynak adı. Geylani vd., 2016, s.610

Nesil	Teknoloji	Maksimum DL (Kbps)	Maksimum UL (Kbps)	Çalışma Frekansı (MHz)	Band Genişliği	MIMO	Modülasyon	Çoklu Erişim	Dublex Modu
2G	GSM	9.6	9.6	450, 800, 900, 1800,1900	200 KHz	-	GMSK	TDMA FDMA	FDD
	D-AMPS	13	13	800, 1500, 1900	30 KHz	-	π/4-DQPSK	TDMA	FDD
	cdma-One	14.4-114	14.4-114	800, 1900	1.25 MHz	-	PSK	DS-CDMA	FDD
	PDC	9.6-28.8	9.6-28.8	800, 1500, 1900	25 KHz	-	π/4-DQPSK	TDMA	FDD
	HSCSD	57.6	57.6	800, 900, 1800,1900	200 KHz	-	GMSK	TDMA FDMA	FDD
2.5G	GPRS	171.2	171.2	800, 900, 1800,1900	200 KHz	-	GMSK	TDMA FDMA	FDD
	EDGE	384	384	800, 900, 1800,1900	200 KHz	-	GMSK 8PSK	TDMA FDMA	FDD

Şekil 38’den görüleceği üzere 2G’nin MIMO desteği bulunmamaktadır.

5.3. Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (3rd Generatıon - 3G)

3G, 2G'nin dezavantajlarının iyileştirilmesi amacıyla geliştirilen 4G için öncü olan mobil haberleşme teknolojilerinin üçüncü neslidir. Uluslararası Mobil Telefon 2000 (IMT-2000, International Mobile Telecommunications-2000) Standardı adı verilen ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU, International Telecommunication Union) tarafından hazırlanan planla 2000 MHz frekans bandını kullanmayı öngören, dünya çapında her ülke için tek ve evrensel kablosuz iletişim standardı oluşturulması amaçlanmıştır. 3G teknolojileri, ağ operatörlerine daha ileri düzey hizmetler sağlama imkanı sunarken, artan spektral verimlilik sayesinde daha büyük ağ kapasitesine ulaşmalarını sağlar. Mobil ortamda sunulan bu hizmetler arasında geniş alan kablosuz ses telefonculuğu, video görüşmeleri, geniş bant kablosuz veri, mobil TV, küresel konumlama sistemi (GPS, Global Positioning System) ve video konferans gibi olanaklar bulunmaktadır. 3G teknolojisinde, 2.5G ve önceki ağlara göre ses ve video akışında gelişmeler sağlanmıştır. Veri hızında 2.5G'ye kıyasla birkaç kat artış mevcuttur. Video konferanslar desteklenmektedir. Web ve WAP (Wireless Application Protocol) tarayıcılarında daha yüksek hızlar elde edilir. IPTV (Internet üzerinden TV) desteği sunulmaktadır (Meraj & Kumar, 2015, s. 2547).

5.4. Dördüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (4th Generatıon - 4G)

3G ağlarının yerine geçecek olan 4G, 3G'nin eksiklerinin ve sınırlandırmalarının önüne geçmek amacıyla yüksek hızda veri akışı sağlayan, ağlar arasında iletişimi kuran haberleşme sistemidir. 3G'nin yaşadığı kapasite ve yüksek hızda veri transferi sağlayamama durumu 4G'yi hızlandırmıştır. 3G cep telefonlarında internet bağlantısında ulaşım sağlarken farklı ağlar arasındaki geçişe izin vermemektedir. 4G farklı teknolojiler kullanarak bu sorunu çözmüştür (Meraj & Kumar, 2015, s.2548).

4G mobil ağların bazı önemli özellikleri şu şekildedir. Hız 4G teknolojisi için önemli bir parametredir. Bu teknoloji sabit durumda saniyede en az 100 megabit hıza ulaşmalıdır. Hareket durumunda hızı ise saniyede 20 megabit olmalıdır. 3G'nin sunduğu kapasitenin en az 10 katına ulaşması gerekmektedir. Bu 10 katlık artış 3G'de 200 saniyede indirilen 10 megabitlik dosyanın 4G teknolojisinde 1 saniyede indirilmesi olanağını sağlar. Bu hız desteği yüksek çözünürlükte video iletimini destekler. 4G'de kablosuz ağların birden fazla kablosuz ve mobil ağ üzerindeki dolaşımı kullanıcıların ağlar arasındaki seçiminde seçenekleri artırdığı için kolaylık sağlar. İnternet erişimi bir çok konuda kolaylık sağlasa da

güvenlik riskleri barındırmaktadır. Bu sebeple 4G mobil haberleşme sistemlerinin de temel unsurlarından biri güvenliktir (Anitha, 2015, s.110).

5.5. Beşinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri (5th Generatıon – 5G)

4G mobil teknolojileri gün geçtikçe ihtiyacı karşılamamaya başlamıştır. 4G teknolojileri insanları ve az da olsa nesneleri birbirine bağlama imkanı sunarken dokunsal internet, tele-tıp, tele-cerrahi, araçtan her şeye iletişim, IoT, drone ve robotlarla iletişim gibi yeni uygulamalara imkan tanımaması 5G üzerindeki çalışmaları hızlandırmıştır (Akar vd., 2023, s.5).

5G gecikme, batarya ömrü, kapasite, güvenilirlik, geniş bant mobilite gibi özellikleri sayesinde zaman ve mekan fark etmeksizin kesintisiz veri aktarımı ve bilgi haberleşmesi sağlayarak toplumları birbirine bağlar. Enerji tüketimi ve düşük maliyet açısından değerlendirildiğinde mobil iletişim için hizmetlerin ve özelliklerin düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetle sağlanması her zaman büyük bir zorluk olmuştur. Milyonlarca sensör, alt sistem ve aktüatörün bağlı olduğu kablosuz sensör ağındaki tüm hizmetlerin sunulabilmesi için birçok enerji, verimli protokol ve algoritma üzerinde çalışılmıştır. 5G teknolojisi 10 Gbps'e kadar yüksek veri hızı imkanı sunar. 1 ms'ye kadar düşük veri gecikmesi ile veri iletimi sağlar. IoT ve makine iletişimi için kullanılabilir bir teknoloji olan 5G artırılmış gerçeklik, yapay zeka gibi alanlarda kullanım kolaylığı sunar. Bu teknoloji 65.000'den fazla bağlantıyı destekleyebilecek büyük ölçekli yayın verisi ve yüksek kalitede pil ömrü ile önemli bir avantaja sahiptir. Bazı avantajlar beraberinde olumsuzluklar getirmektedir. 5G teknolojisi için de geçerli olan bu durumun birçok örneği mevcuttur. 300 GHz'e kadar yüksek frekans bant aralığına sahip olması beraberinde yüksek maliyeti getirmiştir. Ayrıca yüksek frekans dalgalarının, dalga boyu $\lambda = v / f$ bağlantısından dolayı kısadır. λ dalga boyunu v hızı f frekansı ifade etmektedir. Dalga boyunun kısa olmasından kaynaklı daha uzak mesafelere erişebilmek için ek baz istasyonları ihtiyacı doğar ki buda ekstra maliyet demektir. 5G teknolojisinin yaygınlaşabilmesi için kişilerin kullandığı cihazların buna uygun olması gerekmektedir. Bu durum hem üretici tarafında hem de kullanıcı tarafında ekstra maliyet ve çaba gerektirir. Yüksek hızdan kaynaklı dış saldırılara açık olan sistemler ayrıca siber suçlara karşıda savunmasızdır (Chataut, 2020, s. 4-5).

5.5.1. 5G ile Diğer Haberleşme Sistemlerinin Karşılaştırılması

1G'den başlanılarak 5G'ye kadar olan tüm kablosuz haberleşme sistemleriyle 5G kıyaslanacaktır.

Şekil 39

1G ile 5G'nin Karşılaştırılması Kaynak: Sanskar, 2023, s. 570-571

Özellik	1G	5G
Nesil	Birinci Nesil	Beşinci Nesil
Teknoloji	1980'lerde var olan ilk nesil teknoloji	Beşinci nesil teknoloji (2020)
Sinyal Türü	Analog sinyaller üzerinde çalışır	Dijital sinyaller üzerinde çalışır
Veri Bant Genişliği	Kbps (kilobit/saniye)	1GB (gigabit/saniye)
Hareketlilik	Temel düzeyde mobilite	Yüksek hızda mobilite
Kullanım Amaçları	Sadece ses aramaları için kablosuz telefonlar kullanılır	HD akış, büyük bellek, MP3 kaydı, kamera ve tüm gelişmiş özellikler
Güvenlik	Güvenlik önlemleri bulunmaz	Çok yüksek güvenlik
Taşıyıcı Agregasyonu	Zayıf	Çoklu taşıyıcı agregasyonu
Frekans Kanalı Başına Bant Genişliği	30 kHz	28 GHz

Şekil 39'dan da görüleceği üzere 1980'lerde ortaya çıkan 1G'nin ardından gelişen mobil haberleşme teknolojisi sürecinde 5G, 2020 yılında görülmektedir. Analog sinyaller üzerinde çalışan 1G sesli arama amaçlı kablosuz haberleşmede kullanılırken 5G HD (High Definition) akış yüksek bellek kamera ve birçok gelişmiş özelliği barındırmaktadır. Mobil haberleşmenin başlangıcı sayılan 1G'de güvenlik açıkları bulunurken 5G'de güvenlik temel bir unsur haline gelmektedir. Frekans kanalı başına bant genişliği 1G'de 20 kHz iken 5G'de 28 GHzler seviyesini bulmuştur.

Şekil 40

2G İle 5G'nin Karşılaştırılması Kaynak: Sanskar, 2023, s. 571

Özellik	2G	5G
Çıkış Yılı	1990	2020
Kullanım Amaçları	Mobil iletişim için kullanılır	Mobil iletişim ve kablosuz internet için kullanılır
Hizmet Kalitesi	Hizmet kalitesi bulunmaz	Çok yüksek hizmet kalitesi sunar
Mesajlaşma Özelliği	El cihazlarına mesajlaşma imkanı sağlar (SMS, MMS ve resim mesajı)	El cihazlarına ultrayüksek HD video çağrısı imkanı sağlar
Aynı Anda Birden Fazla Taraflı Konuşma	Aynı anda birden fazla partiyle konuşma sağlayamaz.	Sınırsız sayıda partiyle aynı anda konuşma sağlar
Frekans Kanalı Başına Bant Genişliği	200 kHz	28 GHz'e kadar
Çekirdek Ağı	PSTN (Genel Anahtarlı Telefon Ağı)	İnternet
Maksimum Hız	64 Kbps'a kadar	1 Gbps'a kadar
Önceki Neslin Halefi	1G	4G

2G'nin çekirdek ağı genellikle genel anahtarlı telefon ağı (PSTN, "Public Switched Telephone Network) iken, 5G'nin çekirdek ağı internet tabanlıdır. PSTN çoğunlukla santraller vasıtasıyla çalışarak analog ses sinyallerinin iletişimine olanak sağlar. Dijital sinyallerle çalışan 2G'nin mobil iletişim yetisine ek olarak 5G kablosuz internet özelliğini de barındırır. 2G'ye kıyasla 5G'de maksimum hız kapasitesi 1 Gbps'a kadar çıkmıştır.

Şekil 41

3G İle 5G'nin Karşılaştırılması. Kaynak: Sanskar, 2023, s. 572

Özellik	3G	5G
Temel Teknoloji	Yüksek kapasiteli geniş bant veri tabanlıdır	İnternet Protokolü 6'ya dayanmaktadır
Maksimum Veri Aktarım Hızı	3.1 Mbps'a kadar	1 Gbps'a kadar
Video Erişimi	Video erişimi sağlar.	Video erişimi sağlar.
Önceki Neslin Halefi	2G	4G
Yüksek Veri Kapasitesi	Yüksek	Çok yüksek
Frekans Kanalı Başına Bant Genişliği	20 MHz'e kadar	28 GHz'e kadar

3G'nin maksimum veri aktarım hızı maksimum 3.1 Mbps'a kadar iken, 5G'de hız 1 Gbps'a kadar ulaşabilir. 2 farklı teknolojide de kalite farkı olsa da video erişimi mevcuttur. 5G'nin veri kapasitesi 3G'den çok yüksektir.

Şekil 42

4G İle 5G'nin Karşılaştırılması Kaynak: Sanskar, 2023, s. 572-573

Özellik	4G	5G
Veri Bant Genişliği	Mbps cinsinden	Gbps cinsinden
Hızların Arttırılması	Farklı hizmetler tarafından kullanılan veri erişim talebini karşılamak için hızlar daha da artırılmıştır.	Çok yüksek hız ve mevcut bant genişliğinin etkin kullanımı sağlar.
Frekans Kanalı Başına Bant Genişliği	100 MHz'e kadar	28 GHz'e kadar
Teknik özellik	Hata Tespiti için Birleştirilmiş Kodlar Kullanır. Giyilebilir cihazları destekler.	Hata önlemek için politikalarına dayalı yüksek kaliteli hizmet sunar. Yapay zeka yeteneği vardır.
Multipleksleme Tekniği Çoklu Erişim	CDMA (Code division multiple Access)	CDMA ve BDMA (Band Division Multiple Access)

CDMA (Code division multiple Access) kablolu hatların kablosuz kullanılmasına imkan tanır. Sim kart olmaksızın kablolu telefonlar bu teknoloji ile konum fark etmeksizin kullanılabilir ("CDMA," 2021). CDMA ile benzer prensibe sahip olan BDMA (Band Division Multiple Access) farklı frekans bantlarından farklı kullanıcıların iletişimini sağlar.

Özet olarak analog sinyale dayalı olan 1G'den 2G'ye geçişte dijital sinyale geçerek sadece sesli aramalar için kullanılan teknolojinin mesajlaşma gibi ek özellikler ile ilerlediği görülmektedir. 3G'ye geçişte hız biraz daha artarken dijital navigasyon ve video erişimi gibi özellikler eklenmiştir. 4G'de HD çoklu akış ile bir başka evreye geçilmiş, 5G ile de kablosuz haberleşme dünyası için hız, güvenlik gibi özellikler açısından bir devir açıldığı görülmüştür.

5.5.2. 5G İle Bağlantılı Kavramlar

Uç bilişim, ağ dilimleme, Endüstri 4.0, IoT, bulut bilişim, büyük veri, makine öğrenmesi & yapay zeka, artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik (AR/VR) konu başlıkları incelenecektir.

5.5.2.1. Uç Bilişim

Uç bilişim bulut yada merkezler gibi işletim sistemlerinde barındırılan, gerekli durumlarda işlem uygulanan ve analiz edilen bilginin kullanıcıya olduğundan yakın şekilde ağ erişim noktalarında sunulmasıdır (BTK, "5G ve ötesi").

5.5.2.2. Ağ Dilimleme

Ağ dilimleme sahip olunan alt yapıyı birden fazla alt yapıya böler. Amaç tek ağda mevcut olan farklı trafik türlerine, farklı özellikte ve miktarlarda veri kazandırmaktır. 3GPP (3rd Generation Partnership Project), ağ dilimlemeyi 5G'nin temel bileşenlerinde kabul etmektedir. 5G teknolojisine ulaşabilen operatörler ağ dilimleme için orkestrasyon yazılım kullanırlar. Bahsedilen yazılım türü hizmet alınan 5G sistemini takip ederek yönetimini üstlenir. Bu yazılım sayesinde devamlı bir kontrol sağlanabildiği için istenilmeyen bir durumda müdahale kolaylığı sağlanabilmekte ayrıca dilimler istenilen amaca uygun oluşturabilmektedir (ASELSAN *"Çekirdek Şebekelerde 4G'den 5G'ye Yolculuk",* 2022).

5.5.2.3. Endüstri 4.0

Endüstri 4.0'ın çıkışı üretim süreçlerinde bilişim, iletişim, internet, sensör, otomasyon, yapay zekâ ve robotik teknolojilerinin etkisinin artması ile olmuştur. Temelde Endüstri 4.0 endüstride işleyişte etkili olan birimlerin birbiriyle iletişime geçmesine, gerçek zamanlı olarak ulaşılan bilgilerin maksimum katma değerde kullanılmasına dayanır (Eldem, 2017, s.10).

Endüstri 4.0'ın bileşenlerine belli durumlarda 5G'de dahil edilmektedir. İlk telaffuzu Almanya'da olan bu kavram 4. Sanayi devrimi olarak isimlendirilir. Bu devrim ile ulaşılmak istenilen şey maliyet, enerji kullanımı, ısı üretimi gibi değerleri en düşük seviyede tutarken hız, verim ve kaliteyi yüksek seviyelere taşıyabilmektir. En olumlu yanı gerçek zamanlı izlenebilirlik ve raporlara hızlı erişim sağlamasıdır. Bu istenilen özellikleri ise 5G teknolojisi sayesinde yapabilecektir (Tonga, 2022, s.41).

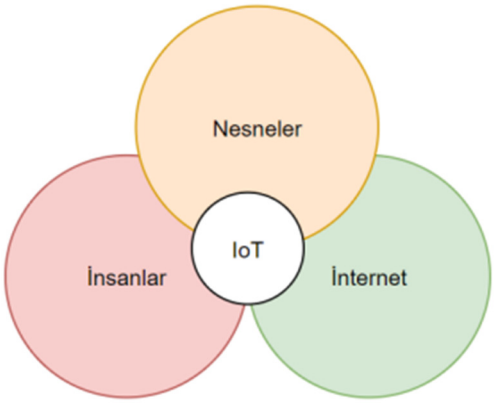
5.5.2.4. IoT

Teknolojiyle beraber iletişim biçimleri genişleyerek geçmişten günümüze gelen insanların birbiriyle olan iletişim şekli, insandan nesneye ve nesneler arasında olmak üzere

çeşitlenmektedir. İnternet üzerinde nesnelerin sahip olacağı kimlik ve adresleme yöntemleri ile nesnelerin birbirine kolayca bağlanması sağlanacaktır. Bu yeni düzen iletişim üzerinde önemli bir çığır açacaktır. İnternet olarak adlandırdığımız kavram IoT olarak evrilecektir. Biz insanların kullandıkları cihazlar üzerinden kurulan internet bağlantıları IoT sayesinde her nesnenin bağlanabileceği duruma gelerek nesneler arasında bilgi aktarımı yapılabilir hale gelecektir. Bu birçok durum için kolaylık sağlasa da zaman içerinde iletişime geçen nesnelerin sayısının insanların sayısını geçebileceği ve insanlar arasındaki iletişimin bitme sınırına gelebileceği öngörüler arasındadır (Erdal & Erguzen, 2020, s.26).

Şekil 43

IoT Kavramsal İlişkisi Kaynak: Erdal & Erguzen, 2020, s.26



Kabul edilen genel bir tanımı olmamasına karşın IoT nesnelerin etkin rol aldığı arayüzler aracılığıyla kullanıcılara bağlantı sağlayan bir teknolojik buluştur (Tan & Wang, 2010, s.376). 5G ile IoT bağlantısı hız açısından kurulabilir. Çünkü IoT teknolojisinde başarı ölçütü nesnelerin sağladığı iletişimin ne ölçüde hızlı olduğuyla ilgilidir. 5G teknolojisinin sağladığı yüksek hızla gecikme yok denecek kadar az bir seviyeye ulaştığı için veri transferi başarılı şekilde yapılabilmektedir. Birden çok nesneyi kendi içinde barındırma yetisi sayesinde 5G güvenilir iletişim açısından IoT'de öneme sahiptir (Vodafone, 2022, s.15).

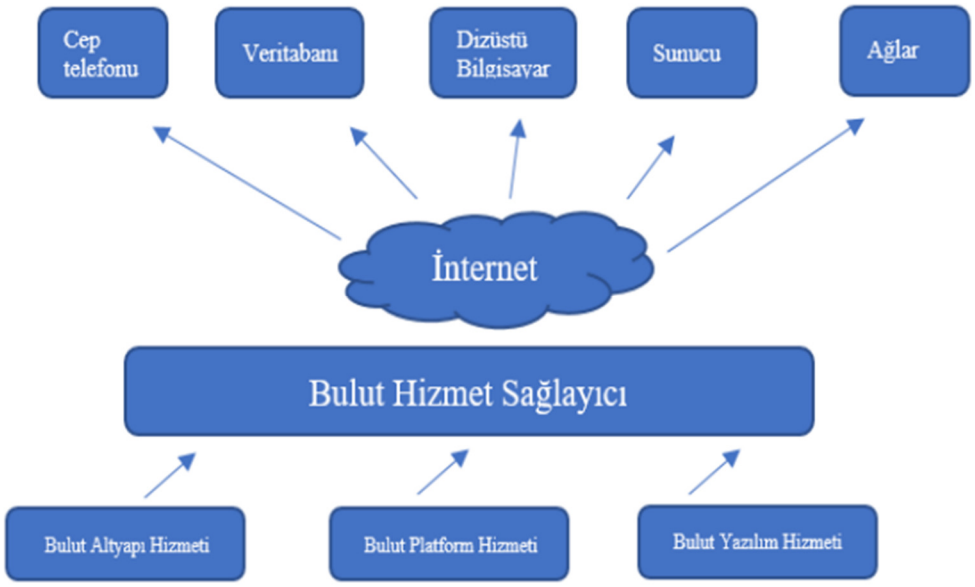
5.5.2.5. Bulut Bilişim

"Cloud Computing" kavramı Türkçe'de çoğunlukla "Bulut Bilişim" olarak adlandırılmaktadır. Son teknolojik gelişmelerden olan bulut bilişim sistemleri sanal bir depo ile bilgi ve belgelerin saklanmasını ve istenildiğinde internet üzerinden elde edilmeyi sağlayan kavramdır. Gün geçtikçe artan büyük verinin saklanması için bu teknoloji

gereklidir. Bir başka deyişle bulut bilişim sayesinde kullanıcılar faydalandıkları ortak sunucular sayesinde bilgi depolaması ve yönetimi yapabilecektir (Çelik, 2021, s.438).

Şekil 44

Bulut Bilişimin Yapısı Kaynak adı. Emekçi vd., 2016



Şekil 44'de gösterilen bulut bilişim yapısında görüldüğü üzere bulut bilişim, altyapı hizmetleri, platform hizmetleri ve yazılım hizmetleri modelinde çalışmaktadır. Bulut bilişimde donanımsal sunucu, sanallaştırma ve depolama gibi faaliyetleri yerine getirme görevinde olan bölüm altyapı hizmet modelidir. Platform hizmet modeli yazılımsal destek vererek kullanıcılara özel uygulamalar oluşturma imkanı verirken yazılım hizmet modeli ise kullanıcının kendi yazılımına direk erişimini sağlar (Uysal & Semız, 2022, s.13).

5.5.2.6. Büyük Veri

Birçok alanda kullanmaya başladığımız yazılımlar içinde birçok farklı algoritma, kod dizimi ve farklı teknolojilerden yararlandığımız için üretilen verinin artışı kaçınılmaz olmuştur. İnternetin de kullanım alanının yaygınlaşması büyük veri kavramını ortaya çıkarmıştır (Sağıroğlu & Demirezen, 2021, S.3).

Gün geçtikçe büyük veri kavramı gelişen bir uygulama haline gelmiştir. Her gün yenisi elde edilen veriyi yeniden işlemek için "Büyük Veri Analitiği" kullanılır. Bu analitik var olan bilgi arasından değerli ve kullanılabilir olanları seçerek yeni bilgiler sunmaktadır. Bu sebeple, büyük veri terimi genellikle insanlar ve çevreleri tarafından günlük olarak

üretilen ve çeşitli şirketler ve hükümetler tarafından daha fazla işlem ve kullanım için saklanan büyük miktardaki dijital bilgiyi ifade eder. Bu kavram ile ilgili her iki yılda bilginin 2 katına çıkacağı düşünülmektedir (Leliopoulos & Drigas, 2023, s.166).

5G ile büyük verinin ilişkisi 5G'nin sunduğu yüksek bant genişliği ve hızla ilgilidir. Yüksek hızda ve yoğunlukta olan büyük veriler 5G'nin yüksek bant genişliği ve yüksek indirilebilir ve yüklenebilir özelliği sayesinde veri trafiği ve diğer farklı problemler minimum seviyeye gelebilmektedir. 5G verilerin sensörler, yapay zeka, veri analiği gibi birçok teknolojiye bilgi akışı sağlayan merkezler arasında hızlı aktarımını sağlayan bir bağlantı görevindedir (Vodafone, 2022, s.15). Büyük dosyaları hızla iletmek, akıllı şehirlerde veri işlenmesi gibi olaylar 5G'nin büyük veri üzerindeki işlevine örnek verilebilir.

5.5.2.7. Makine Öğrenmesi & Yapay Zeka

Yapay zeka bir işletim sistemidir. İnsan zekasının sahip olduğu davranışların taklidinden oluşan bu işletim sistemi; algılama, öğrenme, çoğul kavramları bağlama, düşünme, fikir yürütme, iletişim kurma ve karar verme yetisine sahip olmalıdır ("Yapay Zeka," 2024).

Yapay zekâ ve makine öğreniminin gelişmesindeki en önemli süreç akıllı telefon teknolojilerindeki ilerlemelerdir. Teknolojinin yakın tarihinde sadece kullanıcı olarak yer alan kabalalıklar, teknoloji kullanımındaki hızlı değişim ve farklılaşma ile birlikte yeni iş ortakları haline gelmiştir. Makine öğrenimi ve yapay zekâ hızlanırken, 5G teknolojisi ile birlikte yeni iş inovasyonları gelişmiştir. Kalabalıklar yalnızca veri sağlayan kitleler değil, yaratıcı fikir kaynakları olarak kitle kaynağı oluşturan ve aynı zamanda da farklı bir iş yapma biçiminin önemli parçasıdır (Yazıcı, 2022, s.1308).

Yapay zeka modellerinin hızlı öğrenmesi, doğru ve verimli çalışması için önemlidir. Bu istenilen hız 5G'nin bağlantılı olduğu cihazların artması ve haberleşmenin milisaniyelik hızlarda veri girişi sağlaması ile mümkün kılınmaktadır. Gelecekte 5G yardımı ile yapay zeka uygulamalarının kullanımının artması ve yaygınlaşması beklenmektedir. Görüntü işleme teknolojisi ile kalite kontrol sağlama, şehirlerde yapay zeka destekli güvenlik kontrolü 5G'nin yapay zeka üzerindeki işlevine örnek verilebilir (Vodafone, 2022, s.15). Bahsedilen yapay zeka modellerinin gelişim göstermesi için 5G gibi mobil haberleşme sistemlerine önem verilerek altyapı desteklerinin maddi olarak artırılması gerekmektedir (Çınarer, 2021, s.28).

5.5.2.8. Artırılmış Gerçeklik Ve Sanal Gerçeklik (AR/VR)

Artırılmış gerçeklik, bilgisayar tarafında üretilen ses, görüntü, animasyon, hologram gibi dijital elemanları akıllı telefon, tablet ve sanal gerçeklik gözlükleri sayesinde bulunduğumuz ortamın üzerine gerçek zamanlı olarak yerleştirerek yeni bir algı ortamı oluşturur. Zenginleştirilmiş bu yeni ortam sayesinde gerçek hayata fiziksel olarak yerleştirilmesi mümkün olmayan nesne ve olgular, artırılmış gerçeklikte sanal olarak algılanabilir hale gelir. Artırılmış gerçeklik; yazı, resim ve video gibi bilgisayar ortamında oluşturulmuş materyalleri insanların gerçek dünyaları algılamalarının üzerine yansıtan geniş spektrumlu bir teknoloji olarak açıklanabilir ("Sanal gerçeklik (Virtual Reality) ve Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)," 2020).

Şekil 45

Sanal Gerçeklik Kaynak: "Sanal gerçeklik (Virtual Reality) ve Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)," 2020)



5.5.3. 5G Hizmetleri ve Uygulamaları

Otomotiv, sağlık, medya ve yayıncılık, tarım alanlarında 5G'nin önemi incelenecektir.

5.5.3.1. Otomotiv

1960 senesinde ticari araç kapasitesiyle başlayan otomotiv sektörü zamanla tedarik sanayi ile ihracattaki payını artırmış ve ekonomimize katkı sağlamayı sürdürmüştür. Türkiye ile Avrupa Birliği arasında 01.01.1996 tarihli Gümrük Birliği Anlaşmasının katkılarıyla sektör zaman içerisinde ülkemizde önemli bir yer edinmiştir (BTK "5G ve ötesi", s.160).

Teknolojik gelişmelere ve uygulamalarına oldukça açık olan otomotiv sektörü, çevreci araçlar, bağlantılı araçlar, bulut teknolojileri, akıllı ulaşım sistemleri, hareketlilik, IoT ve verilerin güvenliği gibi alanlarda dünya çapında önemli bir gelişme göstermiştir (BTK "5G ve ötesi", s.161).

Ulaşımda önemli maddeler olan güvenlik, konfor ve çevreci sistemler gibi teknolojiler üzerine çalışmalar sürmektedir. Bağlı ve otonom araçlar başlıkları 5G'nin otomotiv sektöründeki kullanımına örnek verilebilirler. Bağlı veya bağlantılı araç olarak isimlendirilen araçlar veri alışverişi yapabilmek için internet erişimi dahil ileri iletişim teknolojilerinden faydalanarak aracın içinde ve dışında bulunan tüm sistemler ile bağlantı kurarak veri aktarımında bulunabilen araçlardır. Gelecekte teknolojik gelişmelere bağlı olarak bağlantı çeşitlerinde artış olması öngörülmektedir. Artışa bağlı olarak oluşabilecek talepler yayalar, araç üretici firmaları, akıllı ulaşım sistemleri, otoparklar gibi alanlarda görülebilecektir. Gelecekte yapay zeka, 5G iletişim, araç içi hızlı internet, gelişmiş GPS sistemleri kullanılacaktır (İşler, 2023, s.16).

Şekil 46

Bağlı Araç Örneği Kaynak: İşler, 2023, s.16



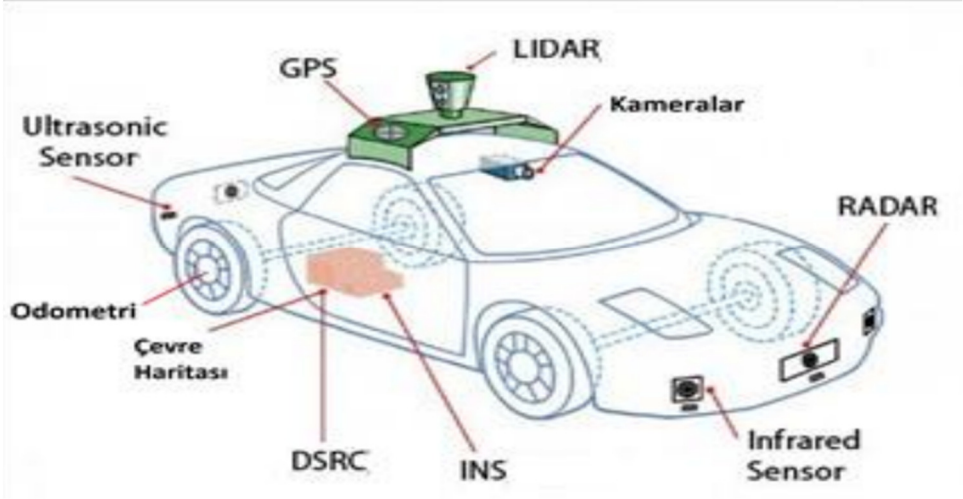
Bahsedilen servisler kısa menzilli iletişim (DSRC, Dedicated short-range communications) tabanlı araç-araç ve araç-altyapı haberleşmesi ile de sağlanabilirken 5G teknolojisi araçtan ağ bağlantısını konum ve zaman tanımadan her zaman ve her yerde sağlayarak süreklilik sağlamaktadır. 5G'nin getireceği bir başka etki ise veri iletişiminde yüksek hız sağlayarak daha güvenli bir ortam oluşturmasıdır. Bazı bağlı araçlarda yüksek veri iletim hızı ve düşük gecikmeli veri iletimi büyük öneme sahipken bunu sağlayabilecek teknoloji 5G'dir (BTK "5G ve ötesi", s.154).

Otonom araçlarda 5G ile bağlantılı yapılardır. Kassens-Noorvd'un görüşüne göre otonom araçlar, gelişmekte olan bir teknolojidir. Toplumun mobilite ve yaşama tarzında

büyük etki yaratabilecek bu araçlar barındırdıkları donanım ve yazılım sistemleri sayesinde etkileşim sağlamaktadırlar. Amaçları arasında yol boyunca insanın sebebiyet verdiği kazaları azaltmak ve güvenli bir sürüş sağlamak olan otonom araçların Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'ne göre (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers) 2040 yılına kadar araç kapasitesinin %75'ini oluşturacağı öngörülmektedir. Bu açıdan ele alındığında otonom araçların ana amaçları arasında yol kalitesi, güvenliği, verimliliği ve konforunun iyileştirilmesi sayılabilmektedir (Karsu & Köse, 2022, s.152).

Şekil 47

Otonom Araç Algılama Teknolojileri Kaynak adı. Taştan & Kaymaz, 2021 s.198



Şekil 47'den de görüldüğü üzere otonom araçlar sensörlerle donatılmıştır. Sensörlerden aldığı bilgiler yardımıyla araç, çevre kontrolünü sağlayabilir ve tehlike durumunda sürücüyü uyarabilir hale gelebilir. Otonom araçlarda, LIDAR (Light Detection and Ranging - Laser Imaging Detection and Ranging), RADAR (Radio Detection and Ranging), kamera ve ultrasonik sensörler ile mesafe ve çevre hakkında bilgiler alınmaktadır. 5G sayesinde araç etraftan aldığı verileri işleyerek aracın kontrolünü sağlayarak çok daha güvenli yolculuk sunmaktadır (BTK "5G ve ötesi", s.155).

Otonom sürüş teknolojisi için ABD ve Avrupa farklı görüşleri savunmaktadır. ABD'de otonom sürüş için özel kısa mesafe iletişim sistemi olan DSRC'nin teknolojik bir çözüm olabileceğine inanılmaktadır. Avrupa'da ise otonom sürüş için herhangi bir teknoloji henüz yoktur. 5G Avrupa için otonom araçlar dahil akıllı endüstri için anahtar bir kavram olarak görülmektedir (Taştan & Kaymaz, 2021 s.198).

5.5.3.2. Sağlık

Dünya çapında mobil haberleşmenin ilerlemesi ile sağlık sektöründe de hasta ve doktor arasındaki iletişim sanal boyutlara taşınmıştır. Artık birçok tıbbi cihazında internete bağlanabiliyor oluşu gelişmelere yön vermiştir. Bir hastanın verilerinin dünyanın her yerine ulaşabiliyor olması sağlık hizmetlerini coğrafi sınırların ötesine taşımıştır. Bir başka teknoloji olan giyilebilir cihazlar hayati tehlike yaratan durumlarda hastanın anlık durumunu doktora ileterek oluşabilecek komplikasyonların önüne geçebilmektedir. 5G ile gecikme seviyesinin minimize edilmesi ile hastalar uzaktan teşhis edilebilecek dahası tedavi, yapay zeka desteği ile iş gücü azaltılmış şekilde sürdürülebilecektir. 5G yüksek güvenirlilik sağladığı için mekan kısıtlaması olmadan ameliyatlar da uzaktan yapılabilecektir. 2025 yılında tahminen 536.6 milyar dolarlık bir pazarda bulut tabanlı veri işleme, yapay zeka destekli asistanlar, 5G bağlantılı ambulanslar ve uzaktan teşhis gibi öncü uygulamalar ön plana çıkacaktır (Türk Telekom, 2018, s.16).

5G ile sağlık sistemindeki bir sonraki aşama sağlık uygulayıcılarının dokunsal internet veya nesnelerin interneti kavramını kullanarak operasyonları uzaktan bağlantı ile gerçekleştirmektir (Tuncay vd., 2023, s.6). 5G ağları sağlık sektörünün tüm paydaşlarını kapsayacak teknolojileri tetikleyerek hastaların uzaktan tedavisine, hastanelerdeki yoğunluğun azaltılmasına ve sağlık verilerinin en etkin şekilde toplanıp işlenmesine olanak tanır. Randevu yoğunluğunun azalması, sağlık değerlerinin en doğru şekilde alınması gibi yenilikler getirecek olan 5G sağlık takibi, dijital sağlık asistanlığı, uzaktan danışmanlık gibi hasta uygulamalarında kullanılabilir. Hastane uygulamaları için; uzaktan robotik cerrahi, VR ile eğitim ve tedavi, olası salgın hastalık durumunda veri toplanmasını sağlayacak telemetri örnek verilebilir (Vodafone, 2022, s.80).

5.5.3.3. Medya ve Yayıncılık

Medya sektöründe de teknolojinin gelişmesiyle beraber kullanıcıların kabul ettiği izleme şekilleri değişim göstermektedir. Sabit bir ekranın önünde izlenen TV hala büyük bir çoğunluğu kapsasada medya sektörü gerek dogrusal medya, isteğe bağlı içerik gibi hizmet türleri gerekse cihazlar açısından yeniliklere açıktır (BTK “5G ve ötesi”, s.155).

5.5.3.3.1. 5G'nin TV Yayıncılığı Üzerindeki Etkileri

Birçok alanda etkin olarak kullanılmaya müsait olan 5G teknolojisi her alanda olduğu gibi TV yayıncılığında da yeniliklerin önünü açmıştır. Bilgi aktarımında sağladığı düşük gecikme, hız ve yüksek kapasite yayıncılığı farklı boyuta götürmüştür. Uydu yayıncılığında karşılaştığımız kapasite problemleri, kullanılması gereken donanım fazlalığı ve bunların oluşturduğu görüntü kirliliği, veri aktarım maliyetlerindeki pahalılık gibi dezavantajların 5G teknolojisi ile minimize edilebileceği öngörülmektedir (Helhel, 2016, s.1).

5G kablosuz haberleşme teknolojisini yayıncılık ile entegre ederek akıllı telefonlar, tabletler gibi tüm mobil cihazlara SIM kart ihtiyacı duymadan ve veri kota sınırı sorunu olmadan içerik sağlayarak yapılabilen yayın 5G yayınıdır. 5G yayını yayıncılara erişim kolaylığı, alışkanlıklar değişse bile ayakta kalabilme ve rekabet etme yeteneği kazandırır. 5G yayını herhangi yeni bir tahsis gerektirmeyerek mevcut spektrumunda kullanım verimini artırabilmektedir (Broadcast Networks Europe, s.1).

Avrupa'da birçok ülkede 5G yayın denemesi yapılmıştır. Türkiye'de ise ilk olarak 1 Şubat 2020 tarihinde Trabzonspor – Fenerbahçe futbol maçı öncesinde 5G ile canlı bağlantı sağlanarak test yayını yapılmıştır. 5G'nin TV yayıncılığında kullanımı ile daha az insan gücüyle hızlı ve yüksek kapasiteli bir yayın deneyimi yaşatılabilecektir. 5G ile yapılan bu ilk canlı yayın için yayın kodlayıcı ve batarya yapısını içinde bulunduran bir sırt çantasından faydalanılmıştır. Kamera ile çanta arasında kurulan bağlantı sayesinde elde edilen görüntüler 5G el terminalinden faydalanılarak yayın kanalına herhangi bir kesinti olmadan, yüksek kaliteyle üstelik düşük gecikme ile aktarılmıştır. Gelenekselleşen yayıncılıkta birçok cihaz ve ekipmanla sağlanabilen yayın hizmeti 5G teknolojisi ile minimum seviyede, tek bir el terminali ile sağlanabilmektedir. Yayıncılık 5G'deki gigabit mertesinde veri iletim hızları sayesinde mekan fark etmeksizin ekip çalışması gerektirmeden tek bir kameramanla kolaylıkla sağlanabilir hale gelecektir (Turkcell, 2020).

Teknolojinin 1 milisaniyenin altında gecikme göstermesi, neredeyse %99,99'a kadar ultra güvenilir iletim özelliği, hizmet kalitesi (Quality of Service – QoS) üzerinde değişiklik yapabilme yetisi ve bir çok teknolojinin uyum sağlayabileceği ortak ağ mimarisi yayıncılıkta önemli bir yer edinmesini sağlamıştır. QoS, hizmet kalitesi ölçütü olarak belirtilmiş olsa da net olarak belirli standartlardan bahsedilmemiştir. Bu durum farklı standartların ortaya çıkmasına imkan tanımıştır. ITU-T'ye göre kullanıcıların ihtiyaçlarına bağlı olarak

telekomünikasyon hizmetinin özellikleri, IETF'e (Internet Engineering Task Force) göre ise ağ tarafından karşılanan hizmet gereksinimleri olarak tanımlanır (Varela vd., 2014, s.87). QoS, bir servisin gereken işlevselliği elde etmek için bir ağ tarafından bağlanan belirli özellikler bütünüdür de denebilir (Başyiğit vd., 2019, s.447).

QoS ağdaki bant genişliği, gecikme seviyeleri, veri aktarımının güvenliği gibi genellikle teknik değerleri ölçerek hizmet kalitesini ölçeklendirir. QoS ile kıyaslandığında QoE daha geniş özellikleri içinde barındırır. QoS belli telekomünikasyon hizmetlerine yönelikken QoE bu tür hizmetlerin yanında hizmetlerin kullanım bağlamları, kullanıcıların genel özellikleri gibi değerleri de içerir (Varela vd., 2014, s.86). QoE'de öncelikli olan, teknik özelliklerden ziyade kullanıcıların tecrübe ettikleri değerlerdir. İçerik, kullanıcı arayüzü, hizmetin kullanım kolaylığı ve kullanıcının talepleri gibi etkenleri içinde barındıran QoE kısaca kullanıcıların deneyimini değerlendirerek bir olgu ortaya koyar.

5.5.3.3.2. 5G'nin Radyo Yayıncılığı Üzerindeki Etkileri

Karasal ortamdan FM, AM, DAB (Digital Audio Broadcasting) /DAB+ (Digital Audio Broadcasting Plus) gibi standartlar ile yapılabilen radyo yayıncılığı mobil ağ bağlantıları kullanımıyla IP yayını ile de dinlenilebilir duruma gelmiştir. Doğal afetler gibi önemli ve kritik zamanlarda önemi daha fazla anlaşılan radyo yayıncılığı, 5G ile yüksek kalitede ve geniş bant maliyetinden tasarruf edilerek kullanıcıya sunulabilir. 700 MHz altı bant (470-694 MHz) 'ın ayrılması gerekmektedir. 5G ile gerek radyo gerekse TV yayıncılığı var olan kalitesini artırarak sağlanılan kesintisiz hız faktörüyle beraber kamu için daha da önemli bir konuma gelecektir. 5G ile TV ve radyo yayınlarının avantajlarının birleştirilmesi sonucunda toplum için vazgeçilmez bir fayda ortaya çıkacaktır. 5G spektrumdan faydalanma konusunda, ağ harcamalarında ve kapsama alanlarında tasarruf etmeyi sağlar. Enerji tükemini minimum düzeye getirir. Tüm akıllı ve bu teknolojiye uyumlu cihazlar, 5G bağlantısıyla birer TV veya radyo olarak çalışırlar.

Örneklendirmek gerekirse deprem anında klasik radyo alıcılarından faydalanılan dinleme yerine, 5G ile ek herhangi bir cihaz gerektirmeden mobil cihazlar üzerinden iletişim sağlanabilir. Karasal yayıncılıkta yayınlar için belirli sprektrum aralıkları mevcuttur. Örneğin FM 87.50 ve 108 MHz frekans bandını DAB+ ise 174 ile 230 MHz bandını kullanır. 700 MHz altı 470 ile 694 MHz bant aralığının kullanımı 2023'te Uluslararası Telekomünikasyon Birliği'nin Dünya Radyo İletişim Konferansı (WRC-23, World Radiocommunication Conference 23)'nda ITU-R tarafından yönetilen spektrum kullanımı

ve çalışmaların sonuçlarına dayanarak değerlendirilmiştir (AER, 2022, s. 1-2). Bahsi geçen konferansa RTÜK tarafından da katılım sağlanmıştır.

20 Kasım 15 Aralık aralığında Dubai'de düzenlenen WRC-23'de Gündem Maddesi 1.5, 1. Bölgede 470-960 MHz frekans bandındaki mevcut servislerin spektrum ihtiyaçları ve spektrum kullanımının gözden geçirilmesi ve 1. Bölgede 470-694 MHz frekans bandının Çözüm Kararı 235 (WRC 19)'e uygun olarak muhtemel düzenleyici işlemlerin yapılmasını konu almaktadır. RTÜK yetki alanı ile de ilgili olan bu madde hakkında konferansta gerekli çalışmalar yapılmıştır. Çalışma grupları tarafından yapılan çalışmalarda karasal yayıncılığa tahsisli olan 470 ile 694 MHz bandının birincil veya ikincil öncelikli olarak mobile tahsisi ile ilgili çeşitli ülkeler tarafından değerlendirilmelerde bulunulmuştur. Bir grup delege 470-694 bandının televizyon yayıncılığına özel tahsisli olduğu ve herkesin ücretsiz ulaşımının sağlanabildiği bir kamu hizmeti olduğu fikrini savunmuştur. Bu frekans bandının kısmi bölünmesi fikri ise televizyon yayıncılığı ile mobil hizmetler arasındaki uyumluluk testlerinin henüz tamamlanmaması gerekçesiyle tartışmaya açık bırakılmıştır. Yakın mesafelerde yayıncılık ile mobil hizmetlerin enterferansa sebep olabileceği gerekçesiyle herhangi bir değişiklik yapılmaması konusunda vurgu yapılmıştır. Yapılan toplantılar sonucunda yapılan geçici nihai anlaşmada Ek Tahsis: Arnavutluk, Cezayir, Almanya, Angola, Suudi Arabistan, Avusturya, Bahreyn, Belçika, Benin, Bosna Hersek, Botsvana, Bulgaristan, Burkina Faso, Burundi, Kamerun, Vatikan, Kongo Cumhuriyeti, Fildisi Sahili, Hirvatistan, Danimarka, Cibuti, Misir, Birlesik Arap Emirlikleri, Ispanya, Estonya, Svaziland, Finlandiya, Fransa, Gabon, Gambiya, Gürcistan, Gana, Macaristan, Irak, Irlanda, Izlanda, Israil, Italya, Ürdün, Kenya, Kuveyt, Lesotho, Letonya, Lübnan, Libya, Lihtenstayn, Litvanya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, Malavi, Mali, Malta, Fas, Mauritius, Moritanya, Moldova, Monako, Mozambik, Namibya, Nijer, Nijerya, Norveç, Umman, Uganda, Filistin, Hollanda, Polonya, Portekiz, Katar, Suriye Arap Cumhuriyeti, Slovakya, Cek Cumhuriyeti, Romanya, Birlesik Krallik, Ruanda, San Marino, Senegal, Sirbistan, Sudan, Güney Afrika, İsveç, İsviçre, Tanzanya, Çad, Togo, Tunus, Türkiye, Ukrayna, Zambiya ve Zimbabwe'de 470-694 MHz frekans bandı aynı zamanda yayıncılık ve program yapımına yardımcı uygulamalara yönelik kara mobil ikincil öncelikli tahsis edilmiştir. Geçici Nihai antlaşmada 2031 yılındaki Dünya Radyokomünikasyon konfreansında da konunun değerlendirileceği bildirilmiştir. 5G yayının gelişebilmesi için bu frekans bandının yayın hzimeti için korunmasının önemi büyüktür (RTÜK WRC, 2023).

Dijital ses olarak dilimize çevrilmiş olan DAB kavramı Digital Audio Broadcasting'in kısaltmasıdır. Analog sinyal dijital sinyale evrildikten sonra AM veya FM

için belirlenen frekans aralıklarından aktarılırlar (İspir, 2016). DAB kavramı özünde bir dijital radyo standardıdır. Avrupada yaygın kullanımı olan bu kabul WorldDAB organizasyonu tarafından çalışılan ve sunulan bir standarttır. DAB ile birlikte analog FM radyolara kıyasla verimin artmış olması belirli bir bant genişliğinde sunulan radyo hizmetlerinin sayısının artmasını sağlamıştır. Yayıncıya ses kalitesini seçme hakkı tanıyan standart doğruluk, bit hızı açısından da FM'e göre birçok avantaja sahiptir. Dezavantaj olarak ise sinyal gücünün belirli seviye altında kalması durumunda DAB'da kalite düşerken FM için durum bu şekilde değildir. DAB standardında üst versiyon olarak DAB+ ortaya çıkmaktadır ("Digital Audio Broadcasting," 2024).

5.5.3.4. Tarım

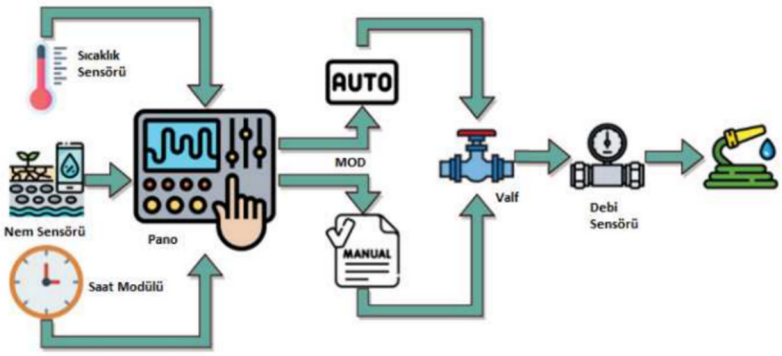
Teknolojinin getirileri birçok alanda olduğu gibi tarım alanında da yenilikleri mecbur kılmıştır. Neredeyse insanlık tarihi itibariyle hayatımızda önemli bir yere sahip olan tarım sektöründe verimliliği artırmak, üretimin hızını kontrol edebilmek için teknoloji önemli bir yere sahiptir. Akıllı tarım kavramı olarak karşımıza çıkan olguda 5G'nin sağladığı hızlı veri aktarımı sayesinde hasat takibi, istenmeyen ot tespiti, ilaçlama gibi tarımda önemli olan faktörler takip edilebilmektedir (Çakır vd., 2022, s.82). IoT uygulamalarının kullanılması sonucunda tarımsal verim artmıştır. Ayrıca günümüzde yeterli kaynak bulmada sıkıntı yaşanan ve tarım için en etkili madde olan suyun tasarrufu için önemli fayda elde edilmiştir (Yetik vd., 2021, s.94).

5.5.3.4.1. Sulama Sistemlerinde Otomasyon

Tarımda verimin artırılması için en önemli faktörler arasında sulama ve gübreleme sayılabilir. Tarım alanları genellikle insanların kolay erişim sağlayamayacağı konumlardadırlar. Yerleşim yerlerine olan mesafeleri tarım için gerekli faktörlerin anlık takibini zorlaştırmaktadır. Ani müdahale gerektiren durumlardan haberdar olunması mesafeden dolayı çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Otomasyon sistemleri ve 5G bu durumda devreye girmektedir. Tarım arazisinde bulunan sensörler sayesinde arazideki bitkilere ilişkin veriler gün içerisinde kaydedilir ve belirlenen koşulların dışına çıkıldığında uyarı göndererek müdahaleyi kolaylaştırır. Kaydedilen verilerin geçmişe dönük incelenebilir oluşu da genel bir değerlendirme imkanı sağlar (Kurt vd., 2022, s.151).

Şekil 48

Sulama Sistem Şeması Kaynak. Kurt vd. 2022 s.152



5.5.3.4.2. Akıllı Seralar

Seracılık sahip olduğumuz iklim koşulları ve coğrafi koordinatlarımıza bağlı olarak çokça tercih edilen bir sistemdir. Seracılıkta karşılaşılan en büyük problemlerden biri yakıt ve bakım maliyetleri olduğu için üreticiler belirli dönemlerde ısıtma imkânlarını kullanabilmektedir. Doğru zamanın tespitini sağlayarak tasarruf edebilmek için ortam sıcaklığı, toprağın nem değeri gibi değerlerin sürekli olarak kontrol edilmesi çok önemlidir. 5G'nin yüksek veri iletimi sayesinde kablosuz algılayıcı ağları ile istenilen değerler kontrol edilebilir. İnternet ile veriler üreticiye ulaştırılır nesnelerin interneti mimarisi ile uzaktan erişim sağlanır ve bilgiler değerlendirilmeye açık olacak şekilde toplanır (Baysal vd., 2018, s.49).

5.5.4. 5G Teknolojileri

Beamforming ve milimetre dalga frekansları bu kısımda işlenecektir.

5.5.4.1. Beamforming

Teknolojik gelişmelerin online eğitim, uzaktan çalışma gibi hayatımıza kattığı yenilikler internete olan bağımlılığımızı artırmıştır. Günlük faaliyetlerde telefon, tablet, bilgisayar gibi birçok cihaz üzerinden sürekli internet bağlantısı kurulmaktadır. Bir modem cihazına birçok cihazla bağlantı sağlandığında internet sinyal gücünde azalma meydana gelmekte buda bağlantı kalitesini düşürmektedir. Bu dezavantajı yok eden teknoloji Beamforming teknolojisidir. Beamforming teknolojisinde Wifi'deki sinyal tüm bağlı cihazlara eşit dağılır (Turknet, 2022).

Şekil 49

Kablosuz Haberleşmede Beamforming Kaynak adı. Avnet, 2021, s.3



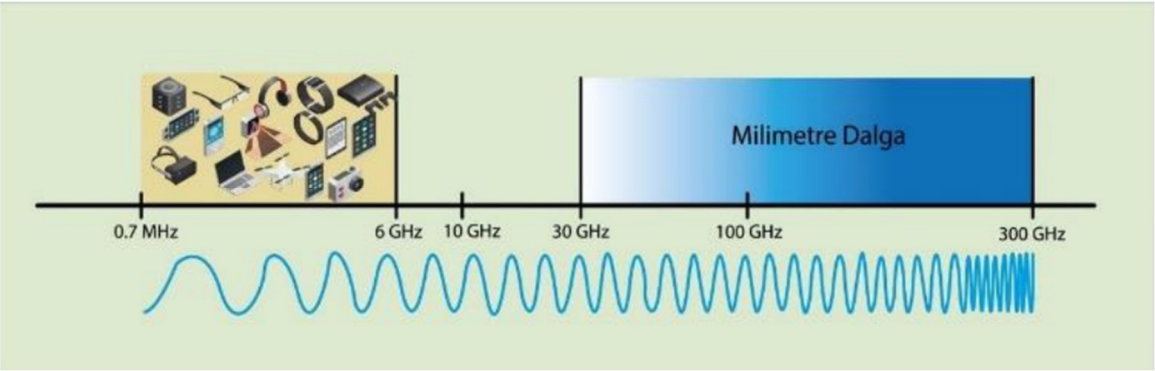
Dünyanın birbiriyle sürekli etkileşim halinde olduğu günümüzde veri yayılımı için elektromanyetik spektrum önemli bir kaynak olarak kabul edilmiştir. Kablosuz haberleşmede spektrumun etkin kullanımı için Beamforming teknolojisi öne çıkmaktadır (Avnet, 2021, s.3). Beamforming kelimesi Türkçeye hüzmeleme veya dalga dilimleme olarak çevrilebilir. Hüzmeleme bir filtreleme tekniğidir. Antenler, elektrik sinyalleri ile elektromanyetik dalgalar arasındaki filtrelemeyi sağlarken hüzmeleme bir veriye mekânsal olarak filtre uygular. Hüzmeleme de anten dizisine uygulanan filtre yapısı sayesinde sinyal güçlendirilir (Lutnaes, 2020, s.19). 5G'de temel bir rol oynayan hüzmeleme dijital, RF ve hibrit olarak 3 şekilde var olmaktadır. Hibrit teknolojisi analog ve dijital beamforming tekniklerinin birleşmiş halidir (BTK, s.147).

5.5.4.2. Milimetre Dalga Frekansları (mmWave)

Genellikle ses aktarımı ile başlayan kablosuz haberleşme zaman içerisinde multimedya uygulamalarına evrilmiş, daha fazla cihazın kullanımıyla da yoğun bir trafik oluşmuştur. Mobil servis sağlayıcılara tahsis edilmiş olan frekansların dar aralığı düşük bant genişliği ve düşük veri hızını beraberinde getirmiştir. Taşıyıcı frekans aralığı sabitken teknolojik gelişmelerin artması yeni teknolojilerin geliştirilmesine fırsat sağlamıştır. Sinyallerin aktarımı için yeni bir bant aralığı düşünülmüştür (Turer & Yılmaz, 2022, s.129).

Şekil 50

Milimetre Dalgada Frekans Aralığı Kaynak: Turer & Yılmaz, 2022, s.130



Yukarıda şekilde 50'de görüldüğü üzere milimetre dalga 30-300 GHz aralığındaki frekansları kullanır. Dalga boyu 1 ile 10 mm aralığında değişen milimetre dalgalar 5G için büyük öneme sahiptir. Bu teknoloji yüksek frekans değerleri sayesinde bant aralığında büyük bir genişlik sağlar. Ek olarak yüksek veri hızı ve güvenlik sağlar (Turer & Yılmaz, 2022, s.129).

Her teknolojide olduğu gibi milimetre dalga teknolojisinin de dezavantajları vardır. Yüksek frekanslar yüksek bant aralığı sağlarken yüksek zayıflama gösterirler. Bu sebeple milimetre dalgaları uzak mesafe haberleşmesinde kullanılamazlar. Hassas ve küçük boyutları sebebiyle maliyet açısından yoğundur. Yüksek frekanslarda çevresel etkilerden etkilenme olasılığı fazladır (Ceniklioğlu & Develi, 2019, s.211).

BÖLÜM 6

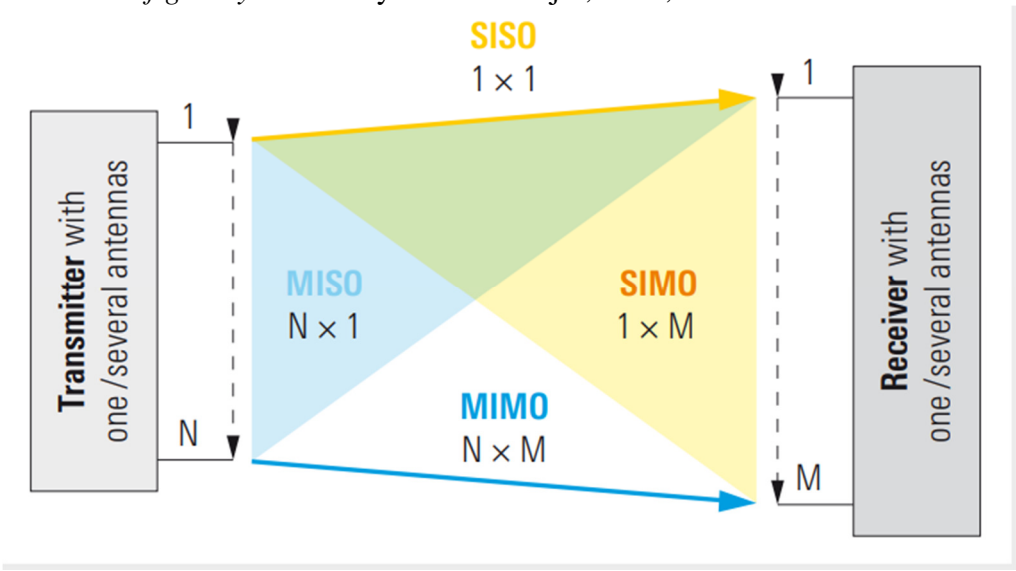
MIMO ANTEN

6.1 Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Anten Konfigürasyonları

Kablosuz haberleşmede giriş çıkış miktarına bağlı olarak sınıflandırılan anten konfigürasyonları Tek Girişli Tek Çıkışlı (SISO, Single Input Single Output), Tek Girişli Çok Çıkışlı (SIMO, Single Input Multiple Output), Çok Girişli Tek Çıkışlı (MISO, Multiple Input Single Output), Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO, Multiple Input Multiple Output) olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şekil 51

Farklı Anten Konfigürasyonları Kaynak: Kiermajer, 2007, s.192



6.1.1. SISO

Tek giriş ve tek çıkıştan oluşan bir başka deyişle tek bir verici antene karışık alıcı tarafta da tek bir antenin var olduğu iletişim sistemidir (“Single-input single-output system,” 2023).

SISO sistemlerinden Bluetooth, Wi-Fi, radyo yayıncılığı, TV gibi birçok sistemde faydalanılır.

Şekil 52

SISO Haberleşme Sistemi Kaynak: Sengar vd., 2014, s.436



SISO'nun kapasitesi C=B* $\log_2(1 + S/R)$ bit/s ifadesi ile formülize edilir. C kapasite, B bant genişliği, S/R sinyal gürültü oranını ifade eder.

Matlab üzerinden 10 MHz bant genişliğine sahip sinyal güç oranı 10 dB olan bir SISO sistemin kapasite hesabı aşağıda yapılmıştır.

Şekil 53

SISO Anten Kapasitesi Hesabı

```
% Sisteme ait değerler
B = 10e6; % Bant genişliği (10 MHz)
S_over_R = 10; % Sinyal-gürültü oranı (SNR) (10 dB)
% Kapasite hesaplama
C = B * log2(1 + 10^(S_over_R/10));
disp(['SISO antenin kapasitesi: ', num2str(C), ' bit/s']);
```

```
Command Window
>> Untitled3
SISO antenin kapasitesi: 34594316.1864 bit/s
```

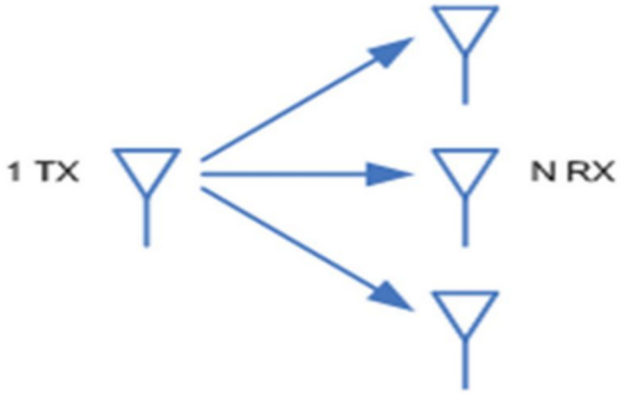
SISO sistemleri basit yapıları sayesinde avantajlı olarak kabul edilselerde bazı koşullar altında çoklu yol etkileri gibi sorunlar yaşayabilirler. SISO sistemleri, basitlik açısından avantajlıdır. Çeşitlilik şemaları açısından işlem gerektirmezler. Sistemin verimliliği, kanal genişliği ve sinyal gürültü oranına bağlıdır. Ancak, bazı koşullarda bu sistemler çoklu yol etkileri gibi sorunlarla karşılaşabilirler. Çoklu yol etkisi sorunları genellikle mesafe ve engel kaynaklıdır. Örneğin elektromanyetik dalga, yayılımı esnasında bina, tepe veya herhangi bir engelle karşılaştığında yayılır ve alıcı kısma erişebilmek için birçok yol alır. Bu duruma çoklu yol etkisi denir ve kayıp, zayıflama gibi sinyal üzerinde etki yarattığı için istenmezler (Sengar vd., 2014).

6.1.2. SIMO

SIMO'da, verici kısımda bulunan tek bir anten alıcı kısımda birden çok anten ile karşılanır. Alıcı tarafta anten sayısı fazla olduğu için anten çeşitliliği olarak da isimlendirilir (Kiermajer, 2007, s.16).

Şekil 54

SIMO Haberleşme Sistemi Kaynak: Sengar vd., 2014, s.437



SIMO sisteminin kapasitesi SISO'ya kıyasla daha iyi seviyededir. SIMO'da alıcı tarafta anten çok olduğundan sinyalin gidebileceği yol arttığı için kayıp artabilir. Maliyet ve enerji gibi faktörler sistemin dezavantajları arasındadır (Bala vd., 2020, s.2).

SIMO sisteminde kapasite hesabı $C=B*\log_2(1 + SNR * M^2)$ formülü ile ifade edilir.

B bant genişliğini, SNR (Signal-to-Noise Ratio) sinyal gürültü oranını, M ise alıcı taraftaki anten sayısıdır. (Ghayoula vd. 2014, s.109)

Bant genişliği 10 MHz, SNR oranı 10 dB ve alıcı taraftaki anten sayısı 4 olan SIMO için Matlab üzerinden yapılan kapasite hesabı Şekil 55'de verilmiştir.

Şekil 55

SIMO Kapasite Hesabı

```
% Verilen değerler
B = 10e6; % Bant Genişliği (10MHz)
SNR = 10; % Sinyal gürültü oranı(dB)
M = 4; % alıcı taraftaki anten sayısı

% SIMO kapasitesini hesaplama
C_SIMO = B * log2(1 + 10^(SNR/10) * M^2);

% Sonucu ekrana yazdır
fprintf('SIMO Kapasitesi: %f bit/s\n', C_SIMO);
```

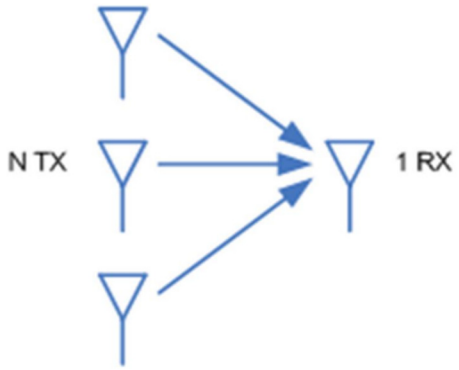
```
Command Window
>> Untitled4
SIMO Kapasitesi: 73309168.781146 bit/s
```

6.1.3. MISO

Verici taraftaki birden çok anten alıcı tarafta bulunan tek anten için ileti gönderir. Verici kısmında aynı veriler yedekli olarak aktarılırken alıcı alabileceği maksimum sinyali alabilir (Önal, 2022, s.20).

Şekil 56

MISO Haberleşme Sistemi Kaynak: Sengar vd. 2014, s.437



MISO sisteminde kapasite hesabı C=B*$\log_2(1 + SNR * N)$ formülü ile hesaplanır. B bant genişliği, N verici ksıımdaki anten sayısını, SNR ise sinyal gürültü oranını ifade eder.

Bant genişliği 10 MHz, SNR oranı 10 dB ve verici taraftaki anten sayısı 6 olan MISO için Matlab üzerinden yapılan kapasite hesabı aşağıda verilmiştir.

Şekil 57

MISO Kapasite Hesabı

```
% Verilen değerler
B = 10e6; % Bant genişliği (10MHz)
SNR_dB = 10; % SNR (dB cinsinden)
N = 6; % Verici taraftaki anten sayısı

% SNR değerini lineer orana dönüştürme
SNR = 10^(SNR_dB / 10);

% Kapasite hesaplama
C_MISO = B * log2(1 + SNR * N);

% Sonucu ekrana yazdırma
fprintf('MISO sistemi için kapasite: %.2f bps\n', C_MISO);
```

```
Command Window
>> Untitled5
MISO sistemi için kapasite: 59307373.38 bps
fx >>
```

6.1.4. MIMO

MIMO teknolojisi çoklu girişe karşılık çoklu çıkış özelliği sunar. Bir başka deyişle verici ve alıcı kısmında kullanılan birçok anten ile uzaysal çeşitliliği sağlayarak kablosuz ağın kanal kapasitesini ve güvenilirliğini artırıcı performans gösterir. Bahsedilen uzaysal çeşitlilik 1990 senesine kadar sadece 2 anten arasında sağlanabiliyorken daha sonra kapsamlı bir hal almıştır. Birden fazla antenin verici tarafında kullanılmasıyla elde edilen çeşitlilik verici çeşitliliği, alıcı tarafında kullanılmasıyla elde edilen çeşitlilik ise alıcı çeşitliliği olarak isimlendirilir (Hussain, 2016, s.4961).

MIMO, bahsedilen faydaları sağlamak için vericideki çoklu antenlerden birden fazla ileti gönderilir ve alıcı tarafındaki birden fazla anten tarafından bu veriler alınır. Çok yollu ortamlar sayesinde veri akışı esnasında yüksek güvenilirlik ve veri hızı sağlanır. 5G'de önemli bir parametre olan yüksek veri hızı MIMO ile ilişkilendirildiğinde iki teknoloji birbiriyle bağlantı kazanmıştır (Özaslan, 2021, s.634).

Verici ve alıcı anten dizileri ve iletim için gerekli zayıflama kanalından oluşan MIMO sisteminde M verici anten sayısını N alıcı anten sayısını temsil ederse MIMO için temel denklem şu şekildedir: $Y = H.X + W$

Y = N x 1 Alıcı matrisi

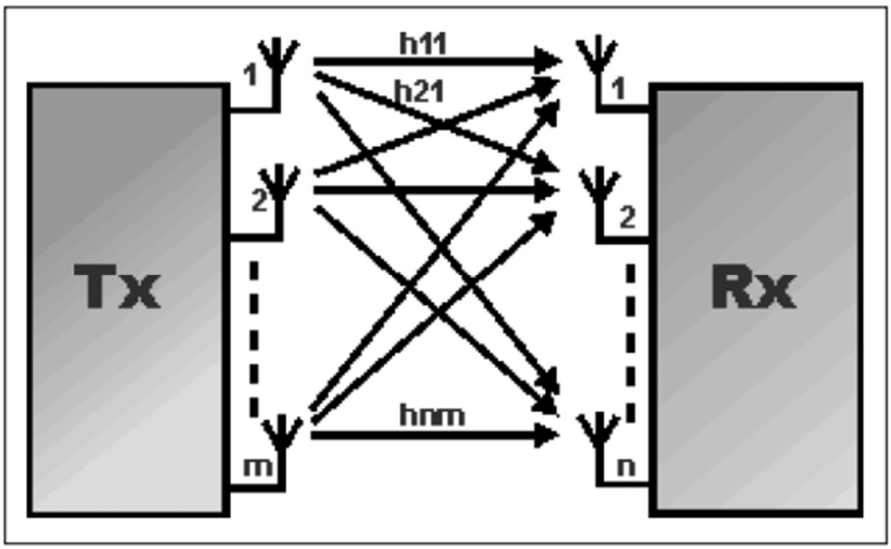
H = N x M Kanal matrisi

X = M x 1 Geçiş matrisi

W = Gürültü (Hussain, 2016, s.4962).

Şekil 58

MIMO Sistemi Kaynak: Hussain, 2016, s.4962



Bir MIMO sistemi, bir dizi verici ve alıcı anten ile verinin iletilmesi için gerekli bir zayıflama kanalından oluşur. Noktadan noktaya olarak başlayan MIMO teknolojisi zaman içerisinde çoklu kullanıcı MIMO olarak ilerleme kaydetmiştir. Noktadan noktaya MIMO'da alıcı ve verici tarafında olmak üzere birden fazla anten barındırırken çoklu kullanıcı MIMO'da birden fazla anteni barındıran baz istasyonları kullanımına imkan sağlanmıştır. Bu durum maliyeti düşürerek önemli bir avantaj sunmuştur. MIMO'nun sağladığı faydalar arasında kapasite ve güvenilirliği artırma, hata oranını azaltma gibi özellikler sayılabilir. Gönderilmek istenen iletilerin aynı versiyonda etkilenme ihtimalini düşürmek için farklı kanallarda farklı versiyonlar ile iletilmesi gerekir. Alıcı kısımda toplanan çoklu kopyalar işlenerek orijinal mesaja erişim sağlanır. Anlaşılacağı üzere çeşitlilik iletişimde performansı artırmaya, hata oranını azaltmaya, bağlantıyı tek bir forma sokarak stabilize etmeye yaramaktadır. Bu avantajları sağlaması nedeniyle MIMO Wifi, Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ve LTE (Long Term Evolution) gibi iletişim standartlarının da bir parçası haline gelmiştir (Hussain, 2016, s.4961).

Hem iç hem dış mekanlar için kablosuz haberleşmenin temel taşı olarak kabul edilen MIMO'nun bazı özellkleri şöyle sıralanabilir.

Veri Hızı Artırma: MIMO teknolojisinde yalnız 20 MHz bant genişliği ile 1 Gbps veri hızına ulaşılabilir. Veri hızının genişletilebilme özelliği vardır. İkili faz kaydırma anahtarlama (BPSK, binary phase shift keying), dörtgen faz kaydırma anahtarlama (QPSK, quadrature phase shift keying) ve dörtgen genlik modülasyonu (QAM, quadrature amplitude modulation) gibi farklı modülasyonlarda farklı veri hızlarına ulaşabilirler.

Menzil Artırma: Kırınım, saçılma ve yansıma gibi özellikler sayesinde menzil genişletirilerek sinyal istenilen seviyeye ulaşabilir (Malviya vd., 2020, s.15).

Geniş Kapsama: Hızın fazla olmasının etkisiyle kapsama alanı geniştir. Hızın artırılması ile ulaşılan kullanıcı sayısı artırılabilir. MIMO spekturumu kapsama alanı uzun mesafe aralığını kapsar.

Yüksek Spektral Verimlilik: SISO, MIMO'ya göre çok düşük spektral verimliliğe sahiptir. SISO düşük spektral verimliliği yüzünden yüksek veri hızına erişebilmek için geniş bant genişliğine ihtiyaç duyar. MIMO'da böyle bir şeye ihtyiaç yoktur.

Bant Genişliğinden Tasarruf: MIMO düşük bant genişliğinde yüksek veri hızına ulaşabildiği için yüksek bant genişliğine ihtiyaç duymaz buda bant genişliğinden tasarruf edilmesini sağlar.

Güç tasarrufu: SISO'da, sinyalin gücünün gürültünün gücüne oranı şeklinde tanımlanan SNR güç tüketimi ile doğru orantılıyken, MIMO'da SISO'ya göre güç tüketimi azdır. Bu durum kablosuz iletimde güç tasarrufu sağlar.

Kapasite artışı: MIMO'nun kapasitesinden bahsetmeden önce Nt, Nr kavramlarını açıklamak gerekir. Nt sinyali gönderen yani verici kısımdaki antenlerin sayısını Nr ise sinyali alan yani alıcı taraftaki antenlerin sayısını ifade eder. MIMO'nun kapasitesi tamamen bant genişliğine değil Nt ve Nr değerlerine de bağlıdır. MIMO'nun kapasitesi Nt × Nr ile doğrusal olarak artarken aynı zamanda da SNR oranından da etkilenir.

Polarizasyon dengeleme: Dikey ve yatay doğrultuda bagımsız sinyal alabilen Çapraz polarize antenlerle MIMO'da polarizasyon dengelenir. MIMO ile birlikte kullanılan çapraz polarize antenlerin farklı polarizasyonlarda çalışabilme özelliği sayesinde çevresel koşulların zorlaştığı durumlarda dahi güvenli bir iletim yapılmış olacaktır (Malviya vd., 2020, s.16).

6.1.4.1. MIMO Kanal Kapasitesi

Kanal kapasitesi bir kanal boyunca gönderilebilecek verinin miktarının ölçüsüdür (Taş, 2009, s.17). MIMO sistemlerindeki alıcı verici tarafta bulunan birden fazla anten sinyal işleme algoritmalarıyla birlikte kullanılarak kapasite ve çeşitlilik artışını sağlar. MIMO sistemlerinde kanal kapasitesi formülü Shannon-Hartley teoremini esas alır.

Shannon Kapasite Teoremi;

C=$B \times \log_2(1 \pm (P \div (\mathrm{N}_0 \times \mathrm{B}))) = B \times \log_2(1 + (S \div N))$ şeklindedir.

Formülde C kanal kapasitesini (bit /saniye), B iletim bit oranı (Hz), P alınan işaretin gücünü (W) ve N_0 gürültü yoğunluğunu ifade eder. Pratikte ise zamanla değişen ve rastgele sönümlemeli kablosuz haberleşme sistemlerinde, kapasite hesabı aşağıda belirtildiği şekildedir.

$C = \log_2(1 + (SNR \times H^2)$ bit/saniye/Hz

H ifadesi kanalın kompleks Gauss genliğinin 1x1 birim gücünü ifade eder. N verici ve M alıcı antenden oluşan MIMO için kapasite formülü aşagıdaki gibidir.

$C = \log_2(\det(\mathrm{I} \pm (\mathrm{SNR} \div \mathrm{N}) \times HH^*)$ bit/saniye/Hz

C kanal kapasitesini bit/s cinsinden ifade ederken B bant geniliği, SNR sinyal gürültü oranı, I birim matrisi, H kanal matrisi, $H \times H^*$ ise kanal matrisinin karmaşık eşleniği bir başka deyişle transpozunu temsil eder (Taş, 2009, s.18).

MIMO anten sistemleri için bir başka kanal kapasite formülü ise şu şekildedir.

$$C = B \times \log_2(1 \pm (SNR \times \det(I + H \times H^H)$$

Şekil 59

MIMO Kapasite Hesabı Karşılaştırmalı Matlab Kodu

```
% Bant genişliği
B = 10e6; % 10 MHz

% Sinyal Gürültü Oranı (SNR) (dB)
SNR_dB = 0:5:10;

% MIMO için anten sayıları
N_degerler = [1, 2, 3, 4];
M_degerler = [1, 2, 3, 4];

% Kapasiteleri saklamak için bir matris oluştur
kapasiteler = zeros(length(N_degerler), length(SNR_dB));

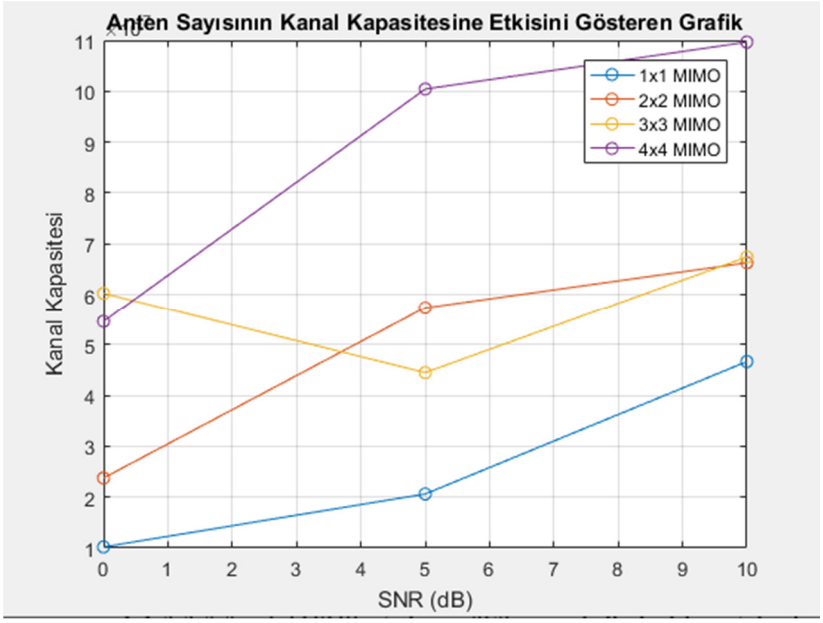
% Her bir anten konfigürasyonu için kapasiteleri hesaplayın
for i = 1:length(N_degerler)
    N = N_degerler(i);
    M = M_degerler(i);
    for j = 1:length(SNR_dB)
        SNR = 10^(SNR_dB(j)/10); % dB'den lineer değere dönüştürür.
        H = randn(M, N); % Rastgele kanal matrisi oluşturur.
        capacity = B * log2(1 + SNR * det(eye(N) + H*H')); %MIMO kapasite formülü
        kapasiteler(i, j) = capacity;
    end
end

% Grafik çizimi
figure;
plot(SNR_dB, kapasiteler', 'o-');
xlabel('SNR (dB)');
ylabel('Kanal Kapasitesi');
legend('1x1 MIMO', '2x2 MIMO', '3x3 MIMO', '4x4 MIMO');
title('Anten Sayısının Kanal Kapasitesine Etkisini Gösteren Grafik');
grid on;
```

Kanal kapasitesinin anten sayısı artışına bağlı olarak değişimi gösteren matlab kodu aşağıdadır. 1x1, 2x2, 3x3 ve 4x4 MIMO antenler için SNR oranına bağlı olarak kapasite hesabını veren matlab kodunda “kapasiteler = zeros(length(N_degerler), length(SNR_dB));” kod satırı matris oluşturur. Matriste satırlar anten sayılarından sütunlar ise SNR degerlerinden oluşur.

Şekil 60

MIMO Kapasite Hesabı Karşılaştırmalı Kodun Yazılım Çıktısı



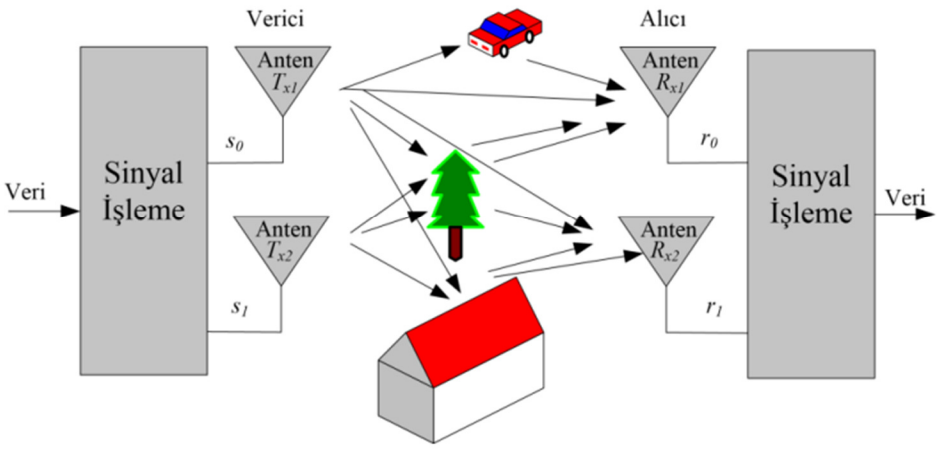
Matlab çıktısından da anlaşılacağı üzere MIMO antenlerde alıcı ve verici anten sayısının artırılması kanal kapasitesini artırır. Grafikte bazı durumlarda farklılık oluşması formülde bulunan logaritmik ifadeden kaynaklıdır.

6.1.4.2. MIMO Çeşitleme Teknikleri

Sistemlerde veri iletimi sırasında oluşabilecek sönümlemeye karşı çeşitleme teknikleri ile önlem alınmaya çalışılmaktadır (Önal, 2022, s.43).

Şekil 61

Çeşitleme Senaryosu Kaynak: Toktaş, 2014, s.12



Gelişen kablosuz iletişim teknolojileri eski teknolojilere göre yüksek kalite ve hıza sahiptirler. Bu özelliklerin yanında farklı çeşitlilikteki ortamlarda güvenilir bir şekilde iletimi amaçlarlar. Yeni nesil iletişim teknolojileri daha iyi kalite ve kapsama alanında daha fazla bant genişliği ve güçte sinyal aktarımını çeşitli ortamlarda yapmayı hedeflese de şekil 61'deki çeşitleme senaryosunda da görüldüğü üzere iletişim ortamında vericiden çıkan sinyali bozan birçok engel mevcuttur. Alıcıya ulaşan sinyalde ilk halinden itibaren birçok bozulma meydana gelmektedir. Bu olumsuz etkileri minimize etmenin en iyi yöntemi çeşitlemedir (Alamouti, 1998, 1451).

Çeşitleme sönümlemenin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak ve iletim sırasında kullanılacak gücü azaltmak için kullanılan tekniktir. Verici kısımdan aktarılan sinyalin kopyalarının bağımsız sönümlemeli kanallar üzerinden alıcı kısma gönderilmesi ile yapılır. İşaret birden fazla kopya şeklinde gönderildiği için gönderilen her işaret aynı yüksek oranda sönümlemeye maruz kalmaz. Alıcıya farklı oranlarda sönümlenmiş olarak gelen sinyaller uygun birleştiriciler ile bütünleştirilerek iletim maksimum verimde gerçekleşmiş olur (Duman, 2022, s.10).

6.1.4.2.1. Zaman Çeşitlemesi

İletilen birçok sinyalin farklı zaman dilimlerinde aktarılması sinyalleri birbirinden bağımsız hale getirecek ve sönümleme riskini azaltacaktır (Önal, 2022, s.43). Bu çeşitleme tekniğinde dikkat edilmesi gereken nokta gönderilen sinyaller arasındaki zaman aralıklarıdır. Sinyaller arasındaki süre minimum kanal ımpuls tepkisinin değişmediği süre olarak belirlenmelidir. Süre belirlenmesinde hata yapılması durumunda birbirine benzer sönümlemeler oluşur ve çeşitleme başarılı olamaz. Zaman çeşitleme tekniği telsiz kanallarda başarılı bir şekilde çalışır (Duman, 2022, s. 10-11).

6.1.4.2.2. Frekans Çeşitlemesi

Verici kısımdan alınan işaretin kopyaları farklı frekanslarda gönderilir. Benzer sönümlemelerin gerçekleşmemesi için frekans aralığı minimum kanalın uyumluluk bant genişliği kadar olmalıdır. Frekans seçiciliği, uyumluluk bant genişliği düşük olan kanallarda daha iyi performans gösterir (Duman, 2022, s.11).

6.1.4.3. MIMO Uyumlu Kablosuz İletişim Standartları

LTE, WİMAX ve WLAN standartları bu kısımda incelenecektir.

6.1.4.3.1. LTE

LTE, UTRA (Universal Terrestrial Radio Access) standardının ve radyo erişiminin iyileştirilmesi amacıyla mobil iletişim endüstrisi standardizasyon kuruluşu olan 3GPP tarafından 2004 yılında geliştirilmeye başlanan bir standarttır. LTE yüksek veri hızıyla birçok kullanıcıya ulaşma yetisi sayesinde genellikle büyük şehirlerde yoğun kullanımın olduğu bölgelerde kullanılır. LTE'nin kullanılabildiği anten uygulamalarında frekans bant aralıklarına uygun hareket edilmelidir. LTE standardında frekans aralıkları ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. LTE MIMO'ya uyumludur (Toktaş, 2014, s. 39-40).

6.1.4.3.2. Wimax

IEEE, Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü gibi kuruluşlar tarafından bağlantılardaki hızı artırmak amacıyla Wimax formu kurulmuştur. Bu grupların çalışmaları sonucunda ortaya Wimax standartları koyulmuştur. Standartların temel özellikleri arasında maliyetten tasarruf, kaliteli hizmet, güvenlik, yüksek bant genişliği, yüksek veri aktarım hızı, kolay kurulum sayılabilir. Bahsedilen özelliklerin birçok sektör için önem arz etmesinden kaynaklı Wimax eğitim, banka, şantiyeler gibi birçok alanda kullanılan bir standarttır (Şentürk, 2016, s.557).

Wimax çoklu anten sistemlerinde özelinde de MIMO antenlerde kullanılabilir. İletimde istenilen verilerin kontrolünü tek bir merkezde toplayarak çoklu anten sistemlerinde ulaşılabilir alanı ve güvenliği artırır (Saltabaş, 2007, s.68). Çoğunlukla kırsal kesimlerde kapsama sağlayan Wimax sabit istasyon merkezleri için ortalama 50 km, mobil istasyonlar için ise ortalama 15 km çapda bir alan içinde etki gösteren bir internet teknolojisidir. 70 Mbps hızında, verimli bant genişliği kullanımı ile veri aktarımı sağlamayı amaçlayan bu teknolojide uzak mesafelerde veri iletimini maksimize etmek ve mesafelerden kaynaklı enterferanslardan kaçınmak amaçlanır (İTÜ, 2013).

6.1.4.3.1. WLAN (Wireless Local Area Network)

Türkçeye kablosuz yeral ağ olarak çevrilen WLAN kavramı ile kablolu bağlantılar yerini yüksek frekanslı radyo dalgalarına bırakmıştır. Yüksek radyo frekans dalgaları ile WLAN bağlantısına bağlanan bir veya birden çok cihaz ile internet bağlantısı kurulur. Bu bağlantı sayesinde kablolara ihtiyaç duyulmaz. Harici donanıma gerek duymadan cihazların içlerinde bulunan alıcı ve vericiler ile bağlantı sağlarlar (Vodafone, 2023).

Bu ağ sisteminin avantajları arasında hareketlilik, ölçeklenebilirlik, maliyetten tasarruf ve güvenilirlik sayılabilir. Kablolara bağlı olmadıkları için WLAN'lar hareket kolaylığı sağlarlar. WLAN'lar isteğe bağlı olarak cihaz ekleme veya çıkarma özelliğine sahip oldukları için ağ içerisinde kullanıcı sayısındaki değişikliklere rahatça adapte olup ölçeklenebilirler. Kablo ve herhangi bir tel kullanmadıkları için bu tür malzemelerin bakım maliyetinden tasarruf sağlanmış olur. WLAN'ın içerisinde güvenlik duvarları mevcuttur buda erişim sağlayıcıya güvenli bir ortam sağlar (PynetLabs, 2024).

6.1.4.4. MIMO Çeşitleri

MIMO çeşitlerinde MU-MIMO (Multi User Multiple Input Multiple Output) ve Kapsamlı MIMO (Massive MIMO) incelenecektir.

6.1.4.4.1. MU-MIMO

SU-MIMO (Single User Multiple Input Multiple Output)'nun tek kullanıcı ile bağlantı özelliği diğer bağlantıları beklettiği için zaman içinde yeterliliğini yitirmiştir. Wifi performansını yükseltmek için MU-MIMO, SU-MIMO'nun yerini almıştır. Eş zamanlı olarak birden fazla bağlantı sağlayan MU-MIMO, işlemcilere kesintisiz ve yüksek kapasitede ağ imkanı sağlar. SU-MIMO'ya kıyasla kablosuz bant genişliğinin kullanımını artırır. Router'da oluşabilecek yeni talepleri alırken bekleme yapılmadan zamanı ve kapasiteyi verimli şekilde kullanır (tp-link, 2024). MU-MIMO aynı zaman diliminde birden fazla kullanıcıya uzamsal çoğullama ile hizmet sağlar. Uzamsal Çoğullama birden fazla sinyali aynı zaman diliminde ve aynı frekansta iletir (Schwarz vd., 2013, s.6).

MU-MIMO'da kablosuz ağ verimliliği SU-MIMO'ya göre iki ila üç kat aralığında daha yüksektir. İletimde etkili anten sayısı fazladır. Bu durum mekânsal kaynak sayısnı artırır. Sonuçta yüksek verimlilik elde edilir. MU-MIMO çalışma prensibinde eş zamanda

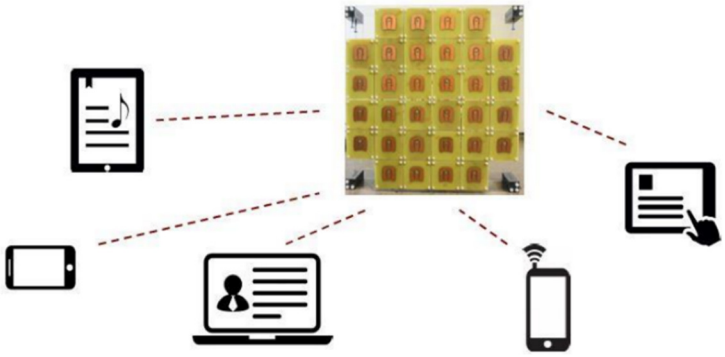
iletişim için hüzmeleme tekniğinden faydalanılır. Bir erişim noktası anten ile terminal arasındaki kanal özelliklerini belirler. Kanal özelliklerine dayanılarak erişim noktası iletilecek veriler için kodlama hesaplaması yapar. Kodlanan sinyaller antenlere iletilir ve hüzmeleme gerçekleşir. Veriler terminallere eriştiğinde her terminal kodlamaya bağlı olarak kendisi için gerekli bilgiye erişir (HUAWEI, 2024).

6.1.4.4.1. Kapsamlı MIMO

Kapsamlı MIMO teknolojisi günümüzde kablosuz iletişimde 6 GHz'in altı için en etkili teknolojilerden biridir. Ana amaç aşağıda şekil 62'de görüldüğü gibi anten dizileri yardımıyla birbirinden bağımsız terminallere eş zamanlı çalışma imkânı sunabilmektir (Larsson, 2017, s.1).

Şekil 62

Kapsamlı MIMO Anten Kaynak: Larsson, 2017, s.1



Kapsamlı MIMO mükemmel spektral verimlilik ve üstün enerji verimliliği gibi iki farklı önemli özelliği içinde barındırır. Spektral verimlilik birden fazla terminalin aynı zaman ve frekansta artırılmasıyla sağlanır. Enerji verimliliği ise düşük hassasiyette işaret işleme ile tasarruf elde ederek gücün azaltılmasına izin verir. Bu durum dizin kazancının önemli bir etkisi olarak karşımıza çıkar (Larsson, 2017, s.1).

Gün geçtikçe kablosuz haberleşmeye olan talebin karşılanabilmesi için çözüm yolları arayışında kapsamlı MIMO kavramı karşımıza daha da sık çıkmaktadır. Kablosuz iletişimde elektromanyetik dalganın aktarımı alıcı, verici ve baz istasyonu üçlüsünün arasındaki bağlantılarla kurulmaktadır. Ancak sinyal genellikle tüm yönlere yayılma eğilimi gösterdiği ve mesafeye bağlı olarak da artan bir dağılım gösterdiği için istenmeyen durumlar oluşturabilmektedir. Bu durumda kapsama alanını baz istasyonunun koordinatları

belirlemektedir. Ağ kapasitesini artırmak için anten sayısını artırmak ilk aşamada işe yarayabilir gibi gözükse de artan antenler arasında sinyallerin birbiriyle etkileşmesi sonucunda gürültü oluşabilir ve kaliteyi düşürebilmektedir. Gürültüyü azaltırken iletinin gücünü artırmak için kapsamlı MIMO devreye girmektedir (IEEE Future Networks, 2024).

Kapsamlı MIMO ile MIMO arasında keskin bir anten miktarı ile ayrımı söz konusu değildir. Çünkü antenler diziler şeklinde de olabilirler. 4G ağlarında anten dizilerinde MIMO'dan bahsedilirken kapsamlı MIMO denince akla 5G gelmektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sonuçlar

Söz konusu bu tezin hazırlanması esnasında erişilmesi hedeflenen ana ve alt amaçlar doğrultusunda elde edilen sonuçlar şunlardır.

- Varoluşumuzla başlayan haberleşme ihtiyacı en ilkel temellerle başlamış, zaman içerisinde büyük bir gelişim göstermiştir. Çeşitlilik gösteren haberleşme, kitle iletişim kavramını ortaya çıkararak geniş kitlelere ulaşabilecek duruma gelmiştir.
- Kitle iletişim araçları içinde en yaygın kullanıma sahip olan radyo ve televizyon sayesinde haberleşme başka bir boyuta geçmiştir. Bu kapsam içinde verici, alıcı ve iletim ortamı üçlüsü ortaya çıkmıştır.
- Elektromanyetik dalgaların iletimi temeliyle çalışmalarına başlanan antenler, süreç içerisinde yapısına eklediği teknolojilerle beraber çok amaçlı kullanıma açık bir hal almıştır.
- Birçok farklı yerde ve amaçla kullanılan antenlerin doğru çalışma standartlarına erişebilmek için tasarım aşamasında uygun parametrelerle donatılmış olması gerekmektedir. Anten polarizasyonu, anten yönlülüğü, kazanç, verimlilik gibi temel paremetreler antenlerden maksimum düzeyde yararlanabilmemiz için gerekli olan temeller olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Dinamik şekilde gelişen antenler zamanla çeşitliliğini artırmıştır. Kullanım amaçlarına, malzeme yapılarına göre çeşitlenen antenler farklı uygulama mecralarında kendilerine alan bulmuştur.
- Genellikle elektromanyetik alan ölçüsünü dengelemek, çevresel faktör kaynaklı enterferansları önlemek, kapsama alanını genişletmek ve çevresel görüntü kirliliğine engel olmak amaçlarıyla kurulan ortak anten sistemlerinin, dünya çapında kullanımının yaygın olduğu, Çamlıca Kulesinin var olan kuleler içerisinde gerek radyo sayısı gerekse teknik özellikleri açısından eşsiz bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.
- Modern hayatın getirisi olarak karşımıza çıkan mobil haberleşme kavramı teknoloji ile iç içe gelişen bir olgudur. 1G Teknolojisiyle başlayan mobil

haberleşme kavramının 5G'ye uzanan sürecinde kronolojik gelişimi ele alınmıştır. Bu değerlendirme sonucunda veri iletim hızı, güvenlik, kapasite gibi parametrelerin süreç içerisinde iyileşme gösterdiği tespit edilmiştir.

- 5G teknolojisinin beraberinde birçok teknolojiyi de etkin kıldığına dikkat çekilmiştir. Günlük hayatımızda birçok farklı sektöre etki etme yetisine sahip olan 5G önemli ve büyük bir ihtiyacı karşılayacaktır. İnternetin hayatımıza neredeyse tamamen entegre olduğu düşünüldüğünde birçok nesne ile bağlantıyı sağlayabilmek için 5G'nin kaçınılmaz bir ihtiyaç olduğu görülmüştür.
- 5G'nin sağladığı faydalar anten teknolojileri üzerinden de etki etmiştir. MIMO anten teknolojisi ile entegre 5G çoklu girişe karşılık çoklu çıkış özelliği sayesinde başarılı bir iletim sağlamaktadır. MIMO, kapasite ve güvenilirliği artırması, performans üzerindeki mükemmel etkisi, bağlantıyı tek bir formda stabilize etme yetileri sayesinde istenilen düzeyde haberleşme sağlamaktadır.
- Her teknolojide olduğu gibi MIMO anteninde yeni talepleri karşılaması, var olan dezavantajları sönümleyebilmesi için gelişim içinde olması gerektiği edinilen bilgiler sonucunda saptanmıştır.

Öneriler

Bu tezde elde edilen verilerden hareketle kurum ve benzer konulara yönelik çalışma yapacak olan kişilere yönelik yapılacak öneriler şunlardır.

- Sürekli ilerleme sürecinde olan mobil haberleşme teknolojisinin anten sistemleri üzerindeki tesiri yakından takip edilmelidir.
- Teknolojik gelişmelerin getirilerinin radyo ve televizyon sektörüne de eş zamanlı aktarımı sağlanmalıdır.
- RTÜK'ün yayıncılık sektöründe son teknolojilerin takibini önemseme ilkesine dayanarak yayıncı kuruluşlar bazında teknik bilgilendirilmelerde bulunulmalıdır.
- Birçok yayıncının muzdarip olduğu enterferans problemine büyük oranda çözüm olan ortak anten sitemleri yaygınlaştırılmadır.
- Ortak anten sistemlerin artırılması ile yayıncı kuruluşların muzdarip oldukları kaçak radyo yayınlarının önüne geçilmesi amaçlanmalıdır.
- 5G'nin sağladığı teknolojik getirilerin günlük hayatımıza entegrasyonunun sağlanması için var olan teknik cihazlarda iyileştirilmelere gidilmelidir. Sektör içerisinde var olan cihaz üreticileri gerekli donanıma sahip olmalıdır.

- 5G'nin getirdiği avantajların Dünya'daki oluş zamanına paralel olarak ülkemize gelişi sağlanmalıdır.
- 5G teknolojisi sayesinde yüksek çözünürlüklü (4K/8K) yayınların mümkün hale gelmesi sonucunda RTÜK düzenleyici kurum olma görevini kullanarak yayın kalitesini ve standartlarını belirlerken, 5G'nin sunduğu yüksek çözünürlüklü video akışlarının nasıl düzenleneceği konusunda yönergeler geliştirmelidir.
- Teknolojinin getirdiği yeni özellikler düzenleyici kurumların kendi bünyelerinde yenilikler yapmasını gerektirebilir. RTÜK açısından düşünüldüğünde mevzuat ve denetim alanında 5G baz alınarak güncellemeler yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Alamouti, S. M. (1998). A simple transmit diversity technique for wireless communications. IEEE Journal on selected areas in communications, 16(8), 1451-1458.

Alsharif, M. H., & Nordin, R. (2017). Evolution towards fifth generation (5G) wireless networks: Current trends and challenges in the deployment of millimetre wave, massive MIMO, and small cells. Telecommunication Systems, 64, 617-637.

Analog Televizyon Verici. (2023, Eylül 18) In Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Analog_televizyon_vericisi. Erişim Tarihi: 14.11.2023.

Anitha, X. J. J. (2015). 4G Mobile Communications-Emerging Technologies. Int. J. Multidiscip. Approach Stud, 2(6), 109-114.

Antenlere Giriş. (2020). OMÜ. https://eem-muhendislik.omu.edu.tr. Erişim Tarihi:18.02.2024.

Arslan, E. (2020). *Mikroşerit alçak geçiren filtre tasarımı ve analizi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Aselsan. (2022, 25 Kasım). Anten sistemlerinde metamalzemeler., https://www.aselsan.com/tr/blog/detay/298/anten-sistemlerinde-metamalzemeler. Erişim tarihi: 19.04.2024.

Aslan, A. R., Sözbir, N., & Öz, İ. (t.y.). Türksat. Uydu haberleşmesi. https://uydu.turksat.com.tr/sites/default/files/2022-01/Uydu-Haberlesmesi-101.pdf.

Aydın, Ö. (2006). Uydu haberleşme sistemleri ve savunmada kullanımı (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).

Aziz, A. (1976). Radyo ve televizyona giriş. Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları.

Aziz, A. (2013). Televizyon ve Radyo Yayıncılığı (Giriş). Hiperlink Yayınları.

Bakanliği, M. E. (2012). TEK ABONELİ UYDU ANTEN TESİSATLARI 523EO0154 Ankara: Meb Publishing.

Bakanliği, M. E. (2013). Elektrik-Elektronik Teknolojisi Uydu Haberleşmesi. Ankara: Meb Publishing.

Bala, D., Waliullah, G. M., Hena, M., Abdullah, M., & Hossain, M. (2020). Study the Performance of Capacity for SISO, SIMO, MISO and MIMO in Wireless Communication. Journal of Network and Information Security, 8(1&2), 01-06.

Başyiğit, B., Dogan, H., & Genc, A. (2019). Hizmet kalitesi değerlendirmesi: Türkiye'deki mobil ağ operatörlerinin optimizasyon performansı üzerine bir çalışması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 445-453.

Bay, N. (2006). Türkiyede radyo ve televizyon yayıncılığı, yasal süreçte yaşanan sorunlar ve çözüm önerilei (Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).

BAYSAL, K., Özcan, M. O., ÖZDÜVEN, F. F., & BEYNEK, B. (2018). Nesnelerin İnterneti Tabanli Bir Sera Takip Sistemi. Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges), 8(2), 49-56.

Beamforning: Fundamentals to Implementation (2021) Avnet https://www.avnet.com/wps/wcm/connect/onesite/eb265314-0944-44a4-9cc2-22896f4471f6/avnet-xilinx-rfsoc-whitepaper.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nCF6jV4&attachment=false&id=1621893758660 Erişim Tarihi: 16.04.2024

Beamforming Nedir? Wi-Fi'da Ne İşe Yarar? (2022, Ağustos) https://turk.net/blog/beamforming-nedir-wi-fida-ne-ise-yarar Erişim Tarihi: 16.04.2024

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu [BTK]. Beyaz Kitap: 5G ve Ötesi.

Broadcast Antenna Radiators and their Characteristics. (2019) KATHREIN Semınar2

Broadcast Antenna System Components. (2019) KATHREIN Semınar3

CDMA. (2021, Şubat 18). In Wıkipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/CDMA Erişim Tarihi: 29.12.2023

Ceniklioğlu, B., & Develi, İ. (2019). 5G ve Ötesi Sistemler için Mm-dalga İletişimi. In *International Conference on Human Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications* (Vol. 4, No. 5, pp. 208-211).

Chataut, R., & Akl, R. (2020). Massive MIMO systems for 5G and beyond networks—overview, recent trends, challenges, and future research direction. *Sensors*, *20*(10), 2753.)

Christodoulou, C. G., & Wahid, P. F. (2001). Fundamentals of antennas: concepts and applications.

CN kulesi (2024, Ocak 7). In Wıkipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/CN_Kulesi. Erişim Tarihi: 19.01.2024

Combiners and Filters for FM Broadcast and TV Systems. (t.y) Kathreın https://selteq.com.ua/wp-content/uploads/2022/04/Combiners-and-Filters-for-FM-and-TV.pdf Erişim Tarihi: 26.02.2024

Constantine, A. B. (2005). Antenna theory: analysis and design. Wiley-Interscience.

Çağlar, M.K., Radyo ve Televizyon Vericilerinin Ortak Anten Sistemi: Teknik Uygulamalarının Belirlenmesi, Yayıncıların Beklentileri, Dünya Örnekleri ve Ülkemiz İçin Çözüm Önerileri, Çanakkale Ortak Anten Uygulaması (Temmuz 2023) (BTK Uzmanlık Tezi)

Çakır, D., Odabas, M. S., Kayhan, G., & Oktaş, R. (2022). 5G teknolojilerinin akıllı tarım sistemlerinde kullanımı ve geleceği üzerine değerlendirme. Black Sea Journal of Engineering and Science.

Çalışkan, C. (2023). *TEMEL HABERLEŞME TEORİSİ* (Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi)

Çanakkale Televizyon Kulesi. (2024, Ocak 8). In Wıkipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87anakkale_Televizyon_Kulesi Erişim Tarihi: 17.01.2024

Çekingen, M. (2011). *Yapay manyetik iletken toprak yüzeyli genişbant mikroşerit anten tasarımı* (Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Çekirdek Şebekelerde 4G'den 5G'ye Yolculuk. Aselsan. https://www.aselsan.com/tr/blog/detay/333/cekirdek-sebekelerde-4gden-5gye-yolculuk Erişim Tarihi:15.03.2024

Çelik, K. (2021). Bulut Bilişim Teknolojileri. Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 12(24), 436-450.

Çınarer, G. (2021). Yapay Zeka ve Dijital Teknoloji. https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2021/11/YAPAY-ZEKA-VE-DIJITAL-TEKNOLOJI-.pdf)

Çil, A. (2021). *5G Ağ Haberleşmesindeki Hücre Yapılarının İncelenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Dalgalar ve Elektromanyetik (t.y) TUA. https://tua.gov.tr/tr/blog/havacilik-ve-teknoloji/dalgalar-ve-elektromanyetik-tayf-spektrum Erişim tarihi: 16.04.2024

Demirhan, Y. *Optiksel Saydam Antenlerin Tasarımı Ve Karakterizasyonu* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Demodülasyon (t.y.) Beyaznet. https://www.beyaz.net/tr/ipucu/entry/701/demodulasyon Erişim Tarihi:16.04.2024

Digital Audio Broadcasting. (2024. April 25). In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Audio_Broadcasting Erişim Tarihi: 26.04.2024

Döngü anten. (2024, Mart 14) In Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%B6ng%C3%BC_anten Erişim tarihi: 15.04.2024

Duman, B. (2022). *Anten seçimli ağ kodlamalı işbirlikli MIMO sistemlerin Rician sönümlemeli kanallardaki performansı* (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).

Dumanla Haberleşme. (2023, Eylül 20). In Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Dumanla_haberle%C5%9Fme Erişim tarihi: 22 04 2024

Eldem, M. O. (2015). Günümüz haberleşme teknolojilerine kısa bir bakış. TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni, 2015(5)

Eldem, M, O. (2017) Endüstri 4.0 TMMOB EMO ANKARA ŞUBESİ HABER BÜLTENİ https://www.emo.org.tr/ekler/09287020c96f18a_ek.pdf?dergi=1111 Erişim Tarihi: 19.03.2024

Emin, B., & Başbuğ, S. (2019). *Uzak mesafe haberleşmesi için yönlü anten tasarımı* (Master's thesis, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

Erdal, E., & Ergüzen, A. (2020). Nesnelerin İnterneti (IoT). *International Journal of Engineering Research and Development*, *12*(3), 24-34.)

Ertem M. Elektronik Dünyası, Modülasyon. Bilim ve Teknik Yayınları.

Esen Baygüneş, M. (2022). *Uplink sözleşmesi* (Master's thesis, Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).

FM FILTERS AND COMBINERS - CATALOGUE 19. (t.y.) https://www.kathrein-bca.com/files/sira_fm_filters_2019_kathrein.pdf Erişim Tarihi: 14.03.2024

Gauss Yasası. (2023, Temmuz 22). In Wıkipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Gauss_yasas%C4%B1. Erişim Tarihi: 13.11.2023

Geylani, M., Çibuk, M., Çinar, H., & Ağgün, F. (2016). Geçmişten günümüze hücresel haberleşme teknolojilerinin gelişimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, *18*(54), 606-623.

Ghayoula, E., Bouallegue, A., Ghayoula, R., & Chouinard, J. Y. (2014). Capacity and Performance of MIMO systems for Wireless Communications. *Journal of Engineering Science and Technology, Review*, *7*(3).

Görgün, H. (2022). Yeni Nesil Geniş Bantlı Haberleşme Teknolojileri. Aselsan Dergisi (111) https://wwwcdn.aselsan.com/api/file/AselsanDergi111Web1_3663.pdf

Güngör, İ. (2012). *Frekans seçici yüzeyler kullanarak iki farklı frekansta istenilen ışıma desenlerine sahip reflektör anten tasarımı* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Helhel, S. (Aralık, 2016) Haberleşme kuramı analog haberleşme. Birsen Yayınevi.

İmamoğlu, F. (2019). *Mikroşerit antenlerin tasarım ve performans optimizasyonu* (Master's thesis, Bursa Uludag University (Turkey)).

İpekli, A. H. (2021). Hava Araçlarında Kullanılan Anten Dizileri Arasındaki Karşılıklı Kuplajın Azaltılması (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi)

İspir, B. (2016). *İnternet Radyoculuğu. Mutlu, M.E. ve Yüzer, T. (Ed.). Yeni İletişim Teknolojileri içinde (Ünite 3). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.* Erişim Tarihi: 11.04.2024

İşler. H. (Mayıs, 2023) Otomotiv Sektöründe Gelecek Perspektifleri

Johnson, R. C. (1993). Antenna Engineering Handbook, McGraw-Hill, Inc., New York

Kabalcı Y. "EM3006 - HABERLEŞME TEORİSİ" Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Kanal erişim yöntemi. (2024, Nisan 21) In Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Kanal_eri%C5%9Fim_y%C3%B6ntemi Erişim Tarihi: 22.04.2024

Kanton kulesi. (2024, Ocak 8) In Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Kanton_Kulesi Erişim Tarihi: 17.01.2024

Karakuş C. 2018 "Antenler ve Elektromanyetik Işıma" (https://ckk.com.tr/ders/antennapropag/00%2000%20Antenler%20ve%20Elektromanyetik%20I%C5%9F%C4%B1ma.pdf) Erişim Tarihi:14.01.2024

Karakuş C. (2020)."Sinyaller" https://ckk.com.tr/ders/SignalsSystems/SS%2010%20Sinyaller.html Erişim Tarihi: 14.01.2024

Karsu, S., & Köse, Z. (2022). EKONOMİK DEVRİM BLOCKCHAIN. Nobel yayıncılık 151-174.)

Khan, A. Q., Riaz, M., & Bilal, A. (2016). Various types of antenna with respect to their applications: a review. International journal of multidisciplinary sciences and engineering, 7(3), 1-8.

Kılıç, A. (t.y.). TV Kuleleri ve Yangın Önlemleri. Yangın ve Güvenlik, 164, 2.

Kıray, H. S., Ataman, E. Ö., & Kesim, M. (2012). Radyo ve televizyon tekniği. (ss. 80-81). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi

Kiermaier, J. (2007). From SISO to MIMO–taking advantage of everything the air interface offers (2). *News from Rohde Schwarz*, *194*(192), 192-195.

Kishk, A. A. (2009). Fundamentals of antennas. In *Antennas for base stations in wireless communications* (Vol. 1, p. 13). The McGraw Hill Companies

Kopmaz, C., Akgöl, O., Karaaslan, M., & Ünal, E. (2019). Yüksek Kazançlı Geniş Bantlı Horn Anten ile Tünel Tespiti. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *2*(1), 126-129.

Köroğlu, S. A. (2015). Literatür taraması üzerine notlar ve bir tarama tekniği. *GiDB Dergi*, (01), 61-69.

Kurt, C., Yılmaztürk, İ., Okur, F., Menemen, A., Bahtiyar, B., & İplikçi, S. (2022). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Tarımsal Sulama Otomasyon Sistemi Geliştirilmesi. *Fırat Üniversitesi Uzay ve Savunma Teknolojileri Dergisi*, *1*(1), 149-153.

Larsson, E. G., & Van der Perre, L. (2017). Massive MIMO for 5G.

Leliopoulos, P., & Drigas, A. (2023). Big data and data analytics in 5G mobile networks. Global Journal of Engineering and Technology Advances, 15(3), 165-190.)

Lutnaes, C. (2020). Beamforming in 5G mm-wave radionetworks: Importance of frequency multiplexing for users in urban macro environments.

Malviya, L., Panigrahi, R. K., & Kartikeyan, M. V. (2020). *MIMO Antennas for Wireless Communication: Theory and Design*. CRC Press.

Mandujano-Salazar, Y. Y. (2016). Tokyo Tower and Tokyo Skytree: History and Symbolism in Contemporary Japan. Revista Gremium, 3(E1), 11-22.)

Massive MIMO (t.y.) IEEE Future Networks. https://futurenetworks.ieee.org/topics/massive-mimo Erişim Tarihi: 09.04.2024

MATLAB R2024a [Bilgisayar yazılımı]. The MathWorks, Inc.

MEB. (2011). Televizyon sistemi (523EO0097) Ankara, Türkiye

Meraj, M., & Kumar, S. (2015). Evolution of mobile wireless technology from 0G to 5G. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 6(3), 2545-2551

Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). Gazetecilik ve Kitle İletişimi (90KG00014) Ankara, Türkiye.

Mitra, A. (2009). Lecture notes on mobile communication. *A Curriculum Development Cell project Under QIP, IIT Guwahati*.)

MU-MIMO (t.y.) https://www.tp-link.com/tr/MU-MIMO/ Erişim tarihi: 16.04.2024

Önal, A. (2022). *5G Mobil Uygulamaları İçin Çift Bantlı MIMO Anten Tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi)

ÖZÇAĞLAYAN, M. (2012). TÜRKİYE'DE RADYO YAYINCILIĞININ GELİŞİMİ (1926-1991). *İstanbul Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi| Istanbul University Faculty of Communication Journal*, (14).

Öztürk Çiçek, Y. (2017). TRT Kurumu Ankara Oran Yerleşkesinin Kurumun Değişen Mekânsal İhtiyaçlarını Karşılama Potansiyeli Üzerine Bir Değerlendirme. TRT Akademi, 2(3), 196-223.

Páez, E. J., Regina, J. P., Sandoval, M. D., Del Pino, P., Tremola, C., & Azpúrua Auyanet, M. A. (2012). Theoretical and practical validation tests for a near-field to far-field transformation algorithm using spherical wave expansion. *Revista técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Zulia*, *35*(1), 109-118.)

Pazarbaş, M. (2013). Kitle İletişiminde Temel Kavramlar "Co-oryantasyon Modeli". *Akdeniz Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi*, (19), 127-140.)

Radyo vericisi. (2024 Ocak 6). In Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Radyo_vericisi#:~:text=Radyo%20vericileri%20radyo%20yay%C4%B1n%C4%B1%20yapan,ses%20sinyaline%20(AF)%20%C3%A7evrilir. Erişim Tarihi: 22 Nisan 2024

Rodriguez, J. (2015). Fundamentals of 5G mobile networks. John Wiley & Sons

Rtük.gov.tr. (2021, Ekim 6). RTÜK Kandemir: "Bir başarı hikayesi Çamlıca Radyo-Tv Kulesi". RTÜK Resmi İnternet Sitesi. https://www.rtuk.gov.tr/kandemir-%E2%80%9D-bir-basari-hikayesi-camlica-radyo-tv-kulesi%E2%80%9D-/4138

Rtük.ebys.gov.tr (t.y) RTÜK WRC 23 Rapor, 2023, RTÜK EBYS.

Sağıroğlu Ş. & Demirezen M. U. (2021). Yapay Zekâ Ve Büyük Veri Çalışmaları, Siber Güvenlik Ve Mahremiyet

Saltabaş, İ. H. (2007). *Kablosuz haberleşme yöntemleri ve IEEE 802.16 protokolü* (Doctoral dissertation, Sakarya Universitesi (Turkey).

Sanal gerçeklik (Virtual Reality) ve Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality). (2020, Şubat 18) https://www.ceyrekmuhendis.com/sanal-gerceklik-virtual-reality-ve-artirilmis-gerceklik-augmented-reality/ Erişim tarihi:02.02.2024

Sandalci, M. (2009). *Yer Radari YöntemI İle Kuzey Anadolu Fayinin BalikesIr YöresInden Geçen KesImInIn BelIrlenmesI* (Doctoral dissertation, Sakarya Universitesi (Turkey))

Sanskar J., Neha A. & Mayank A. (2013). 5G - The Future of Mobile Wireless Communication Networks Mangalayatan University pp. 569-574

Schwarz, S., Heath, R. W., & Rupp, M. (2013). Single-user MIMO versus multi-user MIMO in distributed antenna systems with limited feedback. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2013, 1-20.

Sengar, K., Rani, N., Singhal, A., Sharma, D., Verma, S., & Singh, T. (2014). Study and capacity evaluation of SISO, MISO and MIMO RF wireless communication systems. *arXiv preprint arXiv:1403.7774*.

Single-input single-output system. (2023, December 2). In Wikipdia. https://en.wikipedia.org/wiki/Single-input_single-output_system Erişm Tarihi:02.04.2024

Sönmez, M. *Dipol antenlerin ışıma diyagramlarının yüksek frekans yapı simülatörü yardımıyla incelenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Şentürk, A., Şentürk, Z. K., Şentürk, M., Çiftçi, M., & Başer, E. (2016). Yeni Nesil Kablosuz Ağ Teknolojisi: Wimax Standardının İncelenmesi. *El-Cezeri*, *3*(3)

Tan, L., & Wang, N. (2010, August). Future internet: The internet of things. In 2010 3rd international conference on advanced computer theory and engineering (ICACTE) (Vol. 5, pp. V5-376). IEEE.)

Tastan, Y., & Kaymaz, H. (2021). Otonom Araçların Önündeki Zorluklar. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, *33*(2), 195-209.

Taş, M. T. (2009). *Çoklu giriş çoklu çıkış sistemlerinin incelenmesi ve iletim çeşitleme yöntemlerinin bilgisayarlı başarım analizi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Taşpınar, N., Koçak, Y., & Sabah, M. A. (2001). Genel Paket Radyo Servisi (Gprs) Yapısı, Protokolleri ve Kaynak Yönetimi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 17(1), 22-42.

Technical Terms of Broadcast Antenna Technology. (2019) KATHREIN Semınar1

Televizyon alıcısı. (2020 Aralık 20). In Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Radyo_vericisi#:~:text=Radyo%20vericileri%20radyo%20yay%C4%B1n%C4%B1%20yapan,ses%20sinyaline%20(AF)%20%C3%A7evrilir.) Erişim Tarihi: 15 Mart 2024

The CN Tower, (n.d.). https://ewh.ieee.org/reg/7/millennium/cntower/CN_Tower.pdf erişim tarihi: 17.01.2024

Toktaş, A. (2014). LTE, WiMAX ve WLAN iletişim sistemleri için MIMO anten tasarımları ve prototiplerinin gerçekleştirilmesi. (Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Tokyo Skytree, (2024 April 18) In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Tokyo_Skytree#/media/File:Tokyo_Skytree_2023.jpg Erişim Tarihi: 24.04.2024

Tonga, M. Y., & Tonga, M. (2022). ENDÜSTRİ 4.0'A GENEL BİR BAKIŞ: SANAYİNİN GELECEĞİ. *GÜ İslahiye İİBF Uluslararası E-Dergi*, *6*(6), 40-60.)

Tuncay, A., Burmaoğlu, S., & Kıdak, L. B. (2023). 5G Teknolojisinin Sağlık Alanındaki Uygulamaları. *Eurasian Journal of Health Technology Assessment*, *7*(1), 1-22

Turer, B., & Yilmaz, M. (2022). Emerging Technologies in 5G Cellular Communication Systems. Journal of Science and Technology, 36, 128-133.

Turkcell'den Türkiye'nin ilk 5G canlı yayını (2020, Şubat). Turkcell https://medya.turkcell.com.tr/bulletins/turkcellden-turkiyenin-ilk-5g-canli-yayini/ Erişim Tarihi: 12.04.2024

Türkiye'de Özel Yayıncılığın Başlangıcı Gelişimi Ve Bir Başarı Hikayesi Çamlıca. (2023). Kule A.Ş.

Türkiye'de radyo. (2024, Mart 23) In Wıkipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_radyo Erişim Tarihi: 14.12.2023

Türk Telekom 5G (2018,Ağustos) https://www.turktelekom.com.tr/tt-hakkimizda/duyurular/Documents/tt-5g-final-version-03082018.pdf Erişim Tarihi: 02.01.2024

TV filters. (t.y). elti. https://www.elti.com/uploaded/datoteke/Catalogue/2-VHF_UHF_antenna_components_filters_combiners/TV_filters/ELTI_catalogue_UHF_mask_filters.pdf Erişim tarihi: 26.02.2024

Uçar, S. (2019). Maxwell'in Alan Denklemleri Üzerine Bir Değerlendirme. *Felsefe Arkivi*, (51), 261-270.

Ulu, E. (2020). *Mikrodalga bölgesinde süper-formül yaklaşımıyla mikroşerit anten tasarımları* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Ulusoy, E. *Geniş bantlı radar uygulamaları için kaydırılmış eksenli elips reflektör anten tasarımı* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Uysal, Ö. Ü. B., & Semiz, Ö. Ü. T. (2022). SAĞLIK HİZMETLERİNDE DİJİTALLEŞME VE GELECEĞİ.

What Is MU-MIMO? (t.y.) HUAWEI. https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/MU-MIMO.html Erişim Tarihi:16.04.2024

WIMAX. (2013, Eylül). İTÜ. https://bidb.itu.edu.tr/seyir-defteri/blog/2013/09/07/wimax Erişim tarihi: 13.04.2024

Wireless LAN (WLAN) (2024, Ocak 25). PynetLabs. https://www.pynetlabs.com/wireless-lan-wlan/ Erişim tarihi: 13.04.2024

WLAN Nedir? (2023, Eylül 28). Vodafone. (https://www.vodafone.com.tr/ev-internet/blog/wlan-nedir) Erişim Tarihi: 13.04.2024

Varela, M., Skorin-Kapov, L., & Ebrahimi, T. (2014). Quality of service versus quality of experience. In *Quality of Experience: Advanced Concepts, Applications and Methods* (pp. 85-96). Cham: Springer International Publishing.

Yalın, B. (2018). *Bitümlü Sıcak Karışım Üstyapı Tabaka Kalınlıklarının Zaman Domeninde Sonlu Farklar Yöntemi İle Elektromanyetik Benzetimi* [Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya].

YANG, L. (2020). The measurement of antenna VSWR by means of a Vector Network Analyzer.

Yapay Zeka. (2024, Nisan 23) In Wıkipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay_zek%C3%A2. Erişim tarihi: 12.03.2024

Yazıcı, T. (2022). Kitle Kaynak ve Yapay Zekâ. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *24*(4), 1301-1313.

Yeni nesil bağlantının gücü: 5G teknolojisinin Türkiye için ekonomik ve sosyal faydaları. (2022). Vodafone. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/technology-media-telecommunications/Deloitte-Vodafone-5G-Etki-Analizi.pdf Erişim Tarihi:01.03.2024

Yetik A. K., Seçme H., Aşık M., Karaer M. (2021). Tarımda Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Uygulamaları 89-125.

Yıldırım, A. (1999). Nitel araştırma yöntemlerinin temel özellikleri ve eğitim araştırmalarındaki yeri ve önemi. *Eğitim ve Bilim*, *23*(112).

5G Broadcast for Radio (2022, Haziran). AER. https://www.aereurope.org/5g-broadcast-for-radio-securing-future-proof-diverse-and-free-of-charge-radio-access-on-all-platforms-and-all-mobile-devices/ Erişim Tarihi: 18.04.2024

5G Broadcast Trıals In Europe. (t.y). Broadcast Network Europe https://broadcast-networks.eu/wp-content/uploads/5G-broadcast-trial-leaflet.pdf Erişim Tarihi: 14.02.2024

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı **:** Sema KOTAN

E-Posta Adresi **:**semakotan@rtuk.gov.tr

İş Deneyimi **:**

Unvan	**Görev Yeri**	**Yıl**
Uzman Yardımcısı	Radyo ve Televizyon Üst Kurulu	2021-halen

Akademik Bilgiler

Öğrenim Durumu:

Derece	**Bölüm/Program**	**Üniversite**	**Yıl**
Lisans	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Atatürk Üniversitesi	2013-2018
Yüksek Lisans	Elektronik Haberleşme Mühendisliği	Yıldız Teknik üniversitesi	2023-Halen

RTÜK