MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

5G MOBİL TEKNOLOJİSİNİN OLUŞTURDUĞU ELEKTROMANYETİK ALAN (EMF) ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

AHMET HALİM KÖMÜRCÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ahmet Fevzi BABA

İSTANBUL, 2022

MARMARA UNIVERSITY

INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN PURE AND APPLIED SCIENCES

DETECT OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD (EMF) EFFECT TO COMPRISE BY 5G MOBILE TECHNOLOGY

AHMET HALİM KÖMÜRCÜ

MASTER THESIS

Electrical and Electronics Engineering

Thesis Supervisor

Prof. Dr. Ahmet Fevzi BABA

İSTANBUL, 2022

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans/Öğrencisi Ahmet Halim KÖMÜRCÜ'nün "5G Mobil Teknolojisinin Oluşturduğu Elektromanyetik Alan (EMF) Etkisinin Belirlenmesi" başlıklı tez çalışması .../…/2022 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Ahmet Fevzi BABA (Danışman)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA) .....

Prof.Dr. Mehmet Hakan HOCAOĞLU (Üye)
İstanbul Ticaret Üniversitesi ..... (İMZA).....

Dr. Öğr.Üyesi V. Gökhan BÖCEKÇİ (Üye)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …… tarih ve ……. sayılı kararı ile Ahmet Halim KÖMÜRCÜ'nün Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Adı SOYADI

MARMARA UNIVERSITY

INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN PURE AND APPLIED SCIENCES

Ahmet Halim KÖMÜRCÜ, a Master student of Institute of Science at Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, defended his thesis entitled **"Detect Of The Electromagnetic Field (EMF) Effect To Comprise By 5G Mobile Technology**", on …./…/2022 and has been found to be satisfactory by the jury members.

Jury Members

Prof.Dr. Ahmet Fevzi BABA (Advisor)
Marmara University .....(SIGN) .....

Assoc.Prof. Mehmet Hakan HOCAOĞLU (Jury Member)
İstanbul Trade University .....(SIGN) .....

Assist.Prof. V. Gökhan BÖCEKÇİ (Jury Member)
Marmara University .....(SIGN) .....

APPROVAL

Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences Executive Committee approves that Ahmet Halim KÖMÜRCÜ be granted the degree of Master of Science in Department of Technology, Electrical and Electronics Engineering, on ….., 2022. (Resolution no: ……).

Director of the Institute Prof.
Dr. Adı SOYADI

ÖNSÖZ

Bu çalışmada mobil iletişim teknolojisinin çeşitli nesillerinim gelişimi, işleyişi, sistemlerden yayılan elektromanyetik alan ve dalgalarına ilişkin inceleme ve tesbitlerle birlikte ele alındıktan sonra henüz ülkemizde aktif ve ticari olarak sunulmamış olan 5G teknolojisi incelenmiştir. Bu kapsamda yeni 5. Yeni nesille hayatımıza girecek olan frekans grupları, denemeleri ve uygulamaları yapılan canlı 5G test sahalarındaki ölçüm değerleri ile elekromanyetik alanları ölçülüp değerlendirilmiştir.

Çalışmam boyunca her konuda desteğini esirgemeyen ve değerli önerileriyle bana yol gösteren, her konuda kılavuzluk yapan hocam ve tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Ahmet Fevzi BABA'ya, destek ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam süresince fedakarlıkları ve desteklerinden ötürü başta eşim olmak üzere çocuklarım dahil hep yanımda olan aileme ve çok kıymetli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....ii
İÇİNDEKİLER.....iii
ÖZET.....vi
KISALTMALAR.....
ŞEKİL LİSTESİ.....
TABLO LİSTESİ.....
1. GİRİŞ.....1
1.1 Mobil İletişimin Gelişimi.....1
1.2 5G Öncesi Nesiller.....4
1.2.1 Sıfırıncı Nesil.....4
1.2.2 Birinci Nesil (1G).....4
1.2.3 İkinci Nesil (2G).....5
1.2.3.1 2G(Global System for Mobile Communications, GSM).....6
1.2.3.2 2.5G (General Radio Packet Service, GPRS).....8
1.2.3.3 2.75G (Enhanced Data GSM Environment, EDGE).....8
1.2.4 Üçüncü Nesil 3G (Universal Mobile Telecommunication System, UMTS).....8
1.2.5 Dördüncü Nesil 4G (Long Term Evolution, LTE).....9
1.2.6 Beşinci Nesil (5G).....12
1.2.6.1 5G Çalışma Prensibi.....14
1.2.6.2 Radyo Erişim Ağı.....14
1.2.6.3 Çekirdek Ağı.....14
1.2.6.4 5G'de Kullanılacak Bant Aralıkları.....15
1.2.6.5 Düşük (1 GHz Altı) Band Spektrumu.....16
1.2.6.6 Orta (1GHz-6 GHz) Bant Spektrumu.....17
1.2.6.7 Yüksek (6 GHz ve Üstü) Band Spektrumu.....17
1.2.6.8 5G Hızı ve Verimliliği.....17
1.2.6.8.1 En Yüksek Veri Hızı.....17
1.2.6.8.2 Gecikme Süresi.....18
1.2.6.8.3 Bağlantı Yoğunluğu.....18
1.2.6.8.4 Verimlilik.....18
1.2.6.8.5 Spektral Verimlilik.....18
1.2.6.8.6 Hareketlilik.....18
1.2.6.9 5G ve 4G Arasındaki Farklılıklar.....18
1.2.6.10 Small Cell Teknolojileri.....19

1.2.6.11 Ağ Dilimleme(Slicing) Konsepti…….... 21
1.2.6.12 Milimetre Dalgalar (millimeter waves, mmWaves)…….... 22
1.2.6.13 Massive MIMO (m-MIMO……23
1.2.6.14 Ağ Yoğunlaştırma(Network Densification)……...24
1.2.6.15 Hüzmeleme (Beamforming……... 24
1.2.6.16 Modulasyon(filtered orthogonal frequency division multiplexing, f-OFDM)....25
1.2.6.17 5G Kullanım Alanları ve Getireceği Yenilikler 26
1.2.6.17.1 Nesnelerin İnterneti…… 26
1.2.6.17.2 Nesnelerin İnternetinin Uygulamaları…….…… 28
1.2.6.17.3 Akıllı Şehirler…….….. 29
1.2.6.17.4 Medikal Uygulamaları……30
1.2.6.17.5 Sanayi ve Endüstri Uygulamaları…….…30
1.2.6.17.6 Sanal Penaltı Atışı…….. 31
1.2.6.17.7 5G'li Otomobil…….…31
1.2.6.17.8 İnsansız Kepçe Kontrolü……... 31
1.2.6.18 Ülkemizde 5G ve Sağlık Tartışmalar……...32
2. MOBİL İLETİŞİM VE ELEKTROMANYETİK ALAN.....33
2.1 Elektromanyetik Alan (EMF) Oluşumu…..... 33
2.2 Gündelik Yaşamdaki Elektromanyetik Alan Kaynakları……..…… 34
2.3. RF ve EMF……...35
2.3.1 İyonlaştırıcı Radyasyon (ışıma)…….…35
2.3.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon (ışıma)……35
2.3.3 Elektromanyetik Alanlara Yönelik Güvenlik……36
2.3.4 Radyo Dalgaları Güvenliği……..... 36
2.3.5 SAR (Spesific Absorb Rate)…….…….…..... 37
2.4. EMF Standartları……..…..…37
2.5. Türkiye'deki Düzenleme ve Uygulama…….…..38
2.5.1 Elektrik alan şiddeti…….…. 40
2.5.2 Güvenlik Mesafesi……... 41
2.6 5G ve Elektromanyetik Alan……... 41
2.6.1 ICNIRP……... 43
2.6.2 WHO-DSÖ ve COVIT-19/5G Yorumu……... 43
3. MATERYAL ve ÖLÇÜM YÖNTEMi 45
3.1 Materyal ve Ölçüm Cihazı……..…….……..45
3.2 Ölçüm Yöntemleri……..……45
3.3 Ölçüm Gerçekleştirilen Alanlar……..……..……... 47

3.3.1 Maslak 5G Test Sahası…… 47
3.3.2 Ataşehir İşmerkezi Indoor 5G Test Sahası……..…….....49
3.3.3 İstanbul Havalimanı 5G Test Sahası.……..……..…… 51
3.4 BULGULAR ve TARTIŞMA.....55
3.4.1. Maslak 5G Test Sahası Ölçümler……..…55
3.4.2. Ataşehir 5G Test Sahası Ölçümler…….....59
3.4.3. İstanbul Havalimanı 5G Test Sahası Ölçümler…….....62
3.4.3.1 İSTANBUL HAVALİMANI'nda bulunan 1. Baz İstasyonu 5G test sahası için…. 63
3.4.3.2 İSTANBUL HAVALİMANI'nda Bulunan 2. Baz İstasyonu 5G Test Sahası……...63
3.4.3.3 İSTANBUL HAVALİMANI'nda bulunan 3. Baz İstasyonu 5G Test Sahası…….. 64
3.4.3.4 İSTANBUL HAVALİMANI'nda bulunan 4. Baz İstasyonu 5G test sahası…… 65
4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ……... 69
KAYNAKLAR……73
ÖZGEÇMİŞ..…….. 77

ÖZET

Bu Yüksek Lisans tezi çalışması mevcut mobil iletişim spektrumundaki frekans band gruplarının ve teknolojilerinin (2G, 3G, 4G) ve 5G teknolojisinde kullanılacak olan frekans ve teknolojilerle birlikte elektromanyetik alan değerleri ölçümü ve karşılaştırılmasını içermektedir.

Hayatımızda çok etkin rol oynayan kablosuz iletişim teknolojileri yakın zamanda hayata geçecek olan 5G teknolojisiyle önemini ve işlevini arttırarak varlığını sürdürecektir. Bugün kullandığımız 4.5G teknolojisinin çok ötesinde hızları mümkün kılacak olan 5G ile yeni ve daha geniş band frekanslar kullanılmaya başlanacaktır. Elektromanyetik dalgaların insan sağlığına etkisinin merak edildiği ve araştırıldığı bu dönemde yeni frekanslar farklı ve daha kısa dalgaboylarıyla bu bağlamda nasıl etkiler oluşturacağı yeni bir merak konusudur. Bu tezde bugün kullanmakta olduğumuz 2G, 3G, 4.5G teknolojileri ile ve yakın gelecekte hayatımıza girecek olan 5G teknolojisinin oluşturduğu elektromanyetik alanın uzaklıkla değişen değerleri ölçülüp incelenmiştir. Tezdeki çalışma, Ülkemizdeki düzenleme krtierleri referans alınarak frekans band grubu, iletişim teknolojisi ve çıkış gücüne göre yapılmıştır. Burada elde etmek istediğimiz sonuç, yakın bir süreçte ülkemizde de hizmete girecek olan 5G teknolojisi ile birlikte gerek Uluslararası İyonlaşmamış Radyasyondan Korunma Kurulu (ICNIRP), gerekse Türkiye'deki Düzenleyici Kurum (BTK) tarafından yönetmelikle belirlenen elektrik ve elektromanyetik alan limit değerleri referans alınarak belirlenmiş ve uyulmakla yükümlü olunan limit değerlerin aşılıp aşılmayacağını görülmesidir. Bu kapsamda yine Uluslararası ve yerel standartlar doğrultusunda 5G'nin mobil iletişim noktalarındaki (baz istasyonları) kaynaklarında yapacağımız ölçümlerle elektrik ve elektromanyetik alan değerlerinin durumu ve etkisi ile, ülkemizde belirlenen sınır değerlerin aşılıp aşılmayacağını görerek olası etki analizini yapılması ve bir çıktı oluşturulması hedeflenmiştir.

ABSTRACT

This graduation thesis includes the measurement and comparison of the frequency band groups and technologies (2G, 3G, 4G) in the current mobile communication spectrum and the frequency and technologies to be used in 5G technology, as well as the electromagnetic field values.

Wireless communication technologies, which play a very active role in our lives, will continue to exist by increasing their importance and function with the 5G technology which will be implemented in the near future. With 5G, which will enable speeds far beyond the 4.5G technology we use today, new and wider band frequencies will be used. In this period when the effects of electromagnetic waves on human health are being wondered and investigated, how new frequencies will create different and shorter wavelengths in this context creates a new curiosity. In this thesis, the changing values of the electromagnetic fields created by the 2G, 3G, 4.5G technologies we use today and the 5G technology that will enter our lives in the near future have been measured and examined. The study in the thesis has been made according to the frequency band group, communication technology and output power by taking the regulation criteria in our country as a reference. The result we want to achieve here is determined by reference to the electrical and electromagnetic field limit values determined by the regulation by both the International Non-Ionized Radiation Protection Board (ICNIRP) and the Regulatory Authority in Turkey (BTK), together with 5G, which will be put into service in our country in a short time. It's aimed to see if limit values can be exceeded. In this context, again in line with international and local standards, It's aimed to make an impact analysis and create an output by seeing whether the limit values determined in our country will be exceeded with the condition and effect of the electrical and electromagnetic field values with the measurements we will make at the sources of mobile communication points (base stations) of 5G.

KISALTMALAR

PS : Packet Switching
MBB : Mobile Broadband
FDMA : Frequency Division Multiple Access
GSM : Global System for Mobile Communications
SMS : Short Message Service
TDMA : Time Division Multiple Access
BTS : Base Transceiver Station
BSC : Base Station Controller
BSS : Base Station Subsystem
MSC : Mobile Switching Center
NSS : Network Switching Center
VLR : Visitor Location Register
HLR : Home Location Register
AC : Authentication Center
EIR : Equipment Identity Register
MS : Mobile Subscriber
ME : Mobile Equipment
SIM : Subscriber Identification Module
RF : Radio Frequency
GPRS : General Packet Radio Service
SGSN : Serving GPRS Support Node
GGSN : Gateway GPRS Support Node
CN : Core Network
IP : Internet Protocol
EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution
UMTS : Universal Mobile Telecommunication System
QoS : Quality of Service
DL : Downlink
UL : Uplink
GPS : Global Positioning System
RNS : Radio Network Subsystem
RNC : Radio Network Controller
UE : User Equipment (Kullanıcı Cihazı)

3GPP : 3rd Generation Partnership Project

MIMO : Multiple Input Multiple Output

EPC : Evolved Packet Core

MME : Mobile Management Entity

SGW : Serving Gateway

PGW : Packet Gateway

eMBB : Enhanced Mobile Broadband

IoT : Internet of Things

mIoT : Massive IoT

cIoT : Cellular IoT

RAN : Radio Access Network

LoS : Line of Sight

3DBF : 3 Dimentional Beamforming

f-OFDM : Filtered Orthogonal Frequency Division Multiplexing

EMF : Electromagnetic Field

SAR : Spesific Absorption Rate

ICNIRP :International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu'nu)

WHO/DSÖ : World Health Authority/Dünya Sağlık Örgütü

IRPA (International Radiation Protection Association): Uluslararası Radyasyondan Koruma Kurulu'nu,

KURUM/BTK: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu

ANTEN : Bir sistemden aldığı sinyali; ortama elektromanyetik dalga şeklinde yayan ve ortamdaki elektromanyetik dalgaları alıp, sisteme aktarmaya yarayan elemanı,

ANTEN YAYILIM PATERNİ: Antenden yayılan elektromanyetik dalganın yayın hüzmesini,

ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİ (E): Uzayda herhangi bir noktada; bir birimlik pozitif elektrik yüküne etki eden kuvvetin, vektörel büyüklüğünü (V/m),

ELEKTROMANYETİK ALAN: Elektrik ve manyetik alan bileşenleri olan dalgaların oluşturduğu alanı,

GÜÇ AKI YOĞUNLUĞU: Elektromanyetik dalganın hareket doğrultusuna dik, birim alana düşen güç miktarını (W/m2),

MANYETİK ALAN ŞİDDETİ (H): Manyetik akı yoğunluğunun, ortamın geçirgenliğine oranını (A/m),

GÜVENLİK MESAFESİ: Antenden itibaren ve antenlerin yayın yönü ile cihaz çıkış gücü, anten kazancı, elektrik alan limit değeri dikkate alınarak hesap edilen metre cinsinden değeri,

GÜVENLİK SERTİFİKASI: Her bir sabit elektronik haberleşme cihazının uluslararası kuruluşlarının belirlediği standart değerlerine ve bu Yönetmelik hükümlerine uygun olarak kurulduğunu göstermek üzere işletici ve işletmeciye verilen belgeyi,

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Mobil İletişim Teknolojileri ve Getirdikleri 2
Şekil 1.2 Nesillerin Getirdiği Yenilikler, Standartlar ve Teknolojiler 4
Şekil 1.3. Frekans ve Bandların Karakterisik Özellikleri 11
Şekil 1.4 Teknolojilerin Gelişimi ve 5G Etkisi 13
Şekil 1.5 Türkiye'deki Spektrum Dağılımı ve Kullanımı 16
Şekil 1.6 5G Bantları ve Kullanım Alanları 16
Şekil 1.7 5G ve 4G Entegrasyonu 19
Şekil 1.8 Small Cell Teknolojileri 20
Şekil 1.9 Makro Kuleler ve Küçük Kablosuz Tesisler 21
Şekil 1.10 Baz İstasyon Tipleri Bölgesel Kullanımları 21
Şekil 1.11 Network Slicing Konsept 22
Şekil 1.12 M-MIMO Sistemi Örneği 23
Şekil 1.13 Hüzmeleme Örneği 25
Şekil 1.14 Başlıca IoT Uygulamaları 29
Şekil 1.15 Akıllı Şehirler 29
Şekil 1.16 Sanayi ve Endüstri Uygulamaları 30
Şekil 2.1 Elektromanyetik Spektrum 33
Şekil 2.2 Elektromanyetik Dalgalar 34
Şekil 2.3 İyonlaştırıcı Radyasyon ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun EM Spektrumundaki Konumu 36
Şekil 2.4 Güvenlik Sertifikası ve Saha örnekleri 39
Şekil 2.5 Dünya Sağlık Örgütü Web sitesinden Açıklama Görseli 44
Şekil 2.6 DSÖ Cenevre'deki Merkez Binası 44
Şekil 3.1 Kullanılan EMR Ölçüm Cihazı 45
Şekil 3.2 5G Sahasında Yapılan Ölçüm 47
Şekil 3.3.1.1 Güvenlik Mesafesi Planı 48
Şekil 3.3.1.2 Saha Görüntüsü ve Özellikleri 48
Şekil 3.3.1.3 Sahanın 1.Sektörünün Bakış Yönü 48
Şekil 3.3.1.4 Sahanın 2.Sektörünün Bakış Yönü 48
Şekil 3.3.1.5 Güvenlik Mesafesi Planı 49
Şekil 3.3.2.1 Ataşehir 5G Saha Görüntüsü 50
Şekil 3.3.2.2 Ataşehir 5G Anten Yerleri 50

Şekil 3.3.2.3 Ataşehir 5G Saha Krokisi 51
Şekil 3.3.3.1 Havalimanı 5G Saha Genel Görünüm 51
Şekil 3.3.3.2 Havalimanı 1.Saha Anten Yerleri 32
Şekil 3.3.3.3 Havalimanı 2.Saha Anten Yerleri 32
Şekil 3.3.3.4 Havalimanı 3.Saha Antenleri Yerleri 53
Şekil 3.3.3.5 Havalimanı 3.Saha Anten Kroki 54
Şekil 3.3.3.6 Havalimanı 4.Saha Anten Yerleri 54
Şekil 3.3.3.7 Havalimanı 4.Saha Anteler Kroki 54
Şekil 3.4.1 Her 3 Sektöre Ait EMF Değeri Karşılaştırma Grafikleri 59
Şekil 3.4.2 Sektörler 1800MHz ve 3700MHz EMF Karşılaştırma Grafikleri 62
Şekil 3.4.3 Saha ve Sektörlere Ait 3700MHz Indoor Karşılaştırma Grafikleri.....68

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Mobil İletişimin Gelişimi 3
Tablo 1.2 1G Özellikleri 5
Tablo 1.3 2G Özellikleri 6
Tablo 1.4 UMTS Özellikleri 8
Tablo 1.5 LTE Özellikleri.....10
Tablo 1.6 5G Özellikler 12
Tablo 2.1 Limit Değer Karşılaştırması 39
Tablo 2.2 Ortam ve Tek Cihaz İçin Belirlenen Elektrik Alan Şiddeti Değeri 40
Tablo 3.4.1 Maslak Test Sahası 2G, 3G ve 4G EMF Ölçüm Değeri.....57
Tablo 3.4.2 Maslak Test Sahası 2G, 3G, 4G ve 5G EMF Değeri 58
Tablo 3.4.3 Maslak Test Sahası Yalnız 5G EMF Ölçüm Değeri 58
Tablo 3.4.4 Ataşehir Test Sahası 1800MHz Yalnız 5G EMF Değeri 60
Tablo 3.4.5 Ataşehir Test Sahası 3700MHz Yalnız 5G EMF Değeri 61
Tablo 3.4.6 İstanbul Havalimanı 1. Saha Yalnız 5G EMF Ölçüm Değeri.....63
Tablo 3.4.7 İstanbul Havalimanı 2. Saha Yalnız 5G EMF Ölçüm Değeri.....64
Tablo 3.4.8 İstanbul Havalimanı 3. Saha Yalnız 5G EMF Ölçüm Değeri.....65
Tablo 3.4.9 İstanbul Havalimanı 4. Saha Yalnız 5G EMF Ölçüm Değeri.....66

1. GİRİŞ

Haberleşme, tarihin ilk dönemlerinden bu yana insanoğlunun en temel ihtiyaçları arasında yer almış olup teknolojinin gelişmesiyle birlikte haberleşme teknikleri de bu gelişmelere uyum sağlayarak ilerleme katetmiştir.

Bilgi alışverişi anlamına gelen komünikasyon, insanların sosyal hayatının ve doğanın organizasyonunun çok önemli bir parçasıdır. İnsanların fiziksel özelliklerinin kısıtlı oluşunun komünikasyonu da insanlar için sınırlandırması insanları farklı iletişim imkanları geliştirme konusunda arayışa yönlendirmiş olup, telekomünikasyonun gelişmesi bu arayışın sonucunda olmuştur. İletişim ihtiyacı düşünüldüğünde telekomünikasyonun gelişimi yalnızca bir teknolojik gelişim süreci değil aynı zamanda kültürel ve sosyolojik bir olay değeri taşımaktadır. Telekomünikasyon, insanları, ülkeler hatta kıtalar arasındaki mesafeleri elimine ederek bağlayan bir teknolojidir.

Modern telekomünikasyonun başlangıcı olarak 19. Yüzyılda bilginin uzun mesafelerde iletimini sağlayan yöntemlere ön ayak olan elektromanyetizmin keşfi gerçekleşmiştir. 20.yüzyılda elektronik ve yarı iletken fiziğinin süreci ve gelişimleri hızlanmıştır. Günümüzde ise telekomünikasyon yaşamın tüm ekonomik, sosyal ve bilimsel alanlarında en önemli araçlardan biri olmuştur[1].

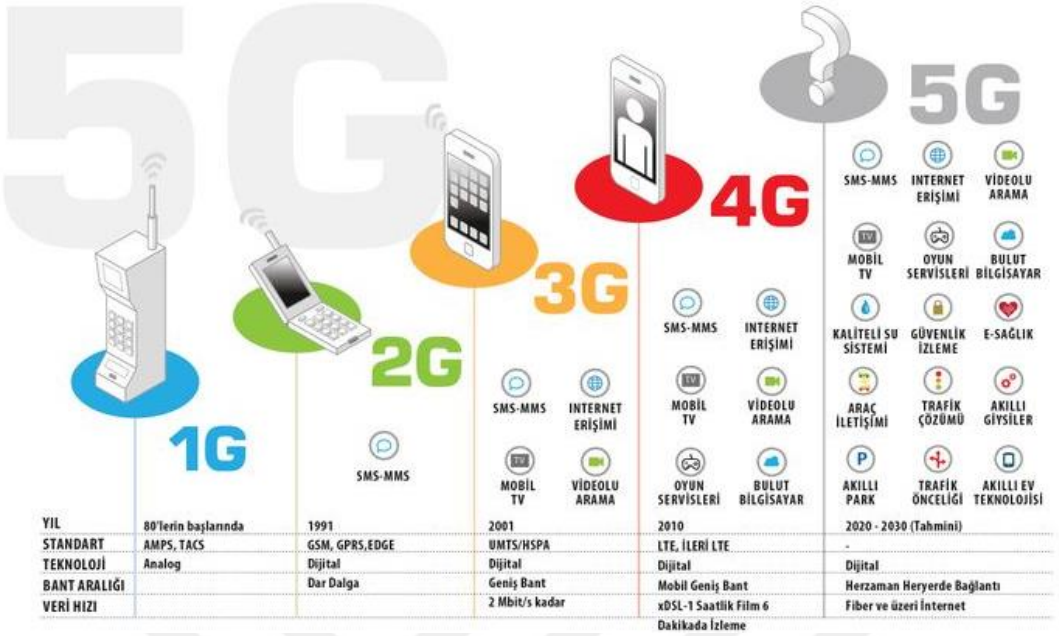
1.1 Mobil İletişimin Gelişimi

Kablosuz iletişim, isminin de ortaya koymuş olduğu gibi kablo kullanılmaksızın bir mesafeden bilgi aktarımıdır. Bu proje içerisinde yakın zamanda hayatımıza girecek olan 5G de dahil olmak üzere bütün nesiller incelecektir.

İlk mobil ağ iletişimi 1980'li yıllarda 1G ile başlayarak, oluşan ihtiyaçlar doğrultusunda hücresel ağların altyapısı belli standartlarla şekillenip, günümüzdeki 5G Teknolojisine kadar gelmiştir. Teknolojinin gelişmesi ile hücresel sistemlerin daha etkili ve verimli hizmet sunabilmesi için altyapı kriterleri, periyodik süreçlerde gelişmiştir. 5G, bu altyapı kodlarının ve ekipmanlarının beşinci kez değiştirilmiş hali olarak karşımıza çıkmaktadır. [2]

Haberleşme teknolojisinin zaman içindeki alt yapı değişiklikleri 1G, 2G, 3G, 4G ve 5G olarak isimlendirilmektedir. 'G' harfi, ingilizcede 'Generation' kelimesini ifade ederken Türkçe karşılığı 'Nesil' anlamına gelmektedir. Yani 5G ifadesi 5. Nesil olarak ifade

edilmektedir ve her nesilde farklı teknolojilerin ortaya çıkması, diğer nesillere göre Şekil 1.1'de görüldüğü üzere daha yenilikçi olması demektir.



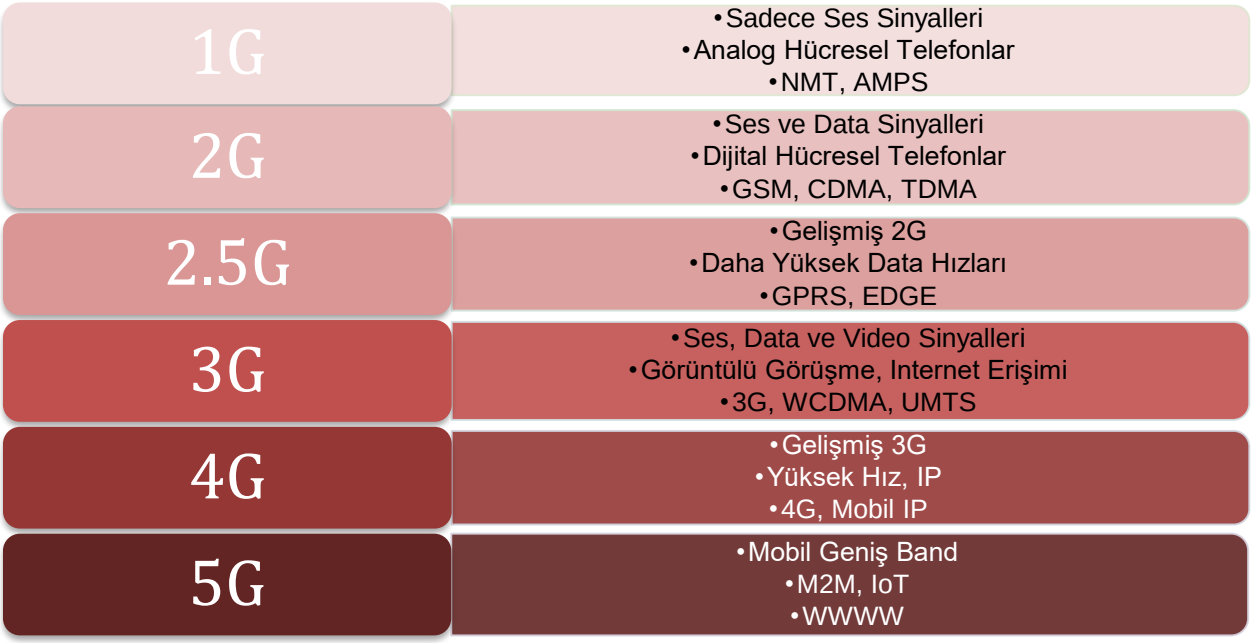
Şekil 1.1 Mobil İletişim Teknolojileri ve Getirdikleri [2]

Mobil iletişim endüstrisinin gelişimi 1970'lerin başına dayanmaktadır. Geçtiğimiz senelerde, mobil kablosuz teknolojiler 0G' den bugün kullanmakta olduğumuz 4G' ye hatta çok yakında araştırma çalışmalarının sonucunda hayatımıza girecek olan 5G' ye kadar teknoloji devrimi geçirmiştir. 1G teknolojisi ile hücresel konsept ilk kez telekomünikasyon sistemlerine girdi ve bu sayede geniş skalalarda mobil iletişim ağları oluşturulabildi. Bu döneme kadar analog olan haberleşme sistemleri 2G ile birlikteyse sayısal haberleşmeye geçti ve iletişim kalitesi bu şekilde bir üst seviyeye geçmiş oldu. Bir sonraki nesil olan 3G bir diğer deyişle UMTS teknolojisi ise veri iletişimini, ses iletişimine odaklanan eski nesillere göre önemli ölçüde geliştirdi ve haberleşme ihtiyaçlarını ve rutinlerini bununla beraber insanların bütün sosyal hayatını değiştiren bir gelişimi gerçekleştirmiş oldu [3]. Data trafiğinin artması bu ihtiyacının çözümüne odaklanan 4G teknolojisini ihtiyaç haline getirdi ve devre anahtarlamalı sistemlerden packet data iletimine (packet switching, PS) geçiş ile hızları inanılmaz ölçüde yükseltti. Bu değişim mobil iletişimin yeni bir çağa geçmesi olarak görülebilir. İletişim ihtiyaçları sürekli artarken bu ihtiyaçları karşılamak için yapılan Ar-Ge çalışmaları sonucunda, 5G' nin hayatımıza getireceği yenilikler ise 4G düşünüldüğünde bile olağanüstü boyutlarda olacaktır.

Tablo 1.1 Mobil İletişimin Gelişimi

	Standartlar	Teknoloji	SMS	Ses Anahtarlama	Data Anahtarlama	Data Hızları
1G	AMPS, TACS	Analog	Yok	Devre	Devre	N/A
2G	GSM, CDMA, EDGE, GPRS	Dijital	Var	Devre	Devre	236.8 kbps
3G	UMTS, CDMA2000, HSDPA, EVDO	Dijital	Var	Devrepacket	Paket	384 kbps
4G	LTE Advanced, WiMAX	Dijital	Var	Paket	Paket	1 Gbps' a kadar
5G	WWWW	Dijital	Var	Paket	Paket	10 Gbps' a kadar

1G, temel olarak sesli iletişimi gerçekleştiriyordu ancak 2G kapasite ve kapsama konularına eğildi. Devamında gelen nesil olan 3G ise, 4G tarafından daha da gerçekleştirilebilmiş olan mobil geniş bant (mobile broadband, MBB) deneyimi için kapıları açarak daha yüksek veri hızları arayışına girdi. 4G ise çok kullanıcılı servis taleplerine uygun olarak, ileri düzey mobil servisler, paket bazlı geliştirilmiş networkler, yüksek mobilite uygulamaları ve yüksek data hızları gibi geniş bir telekomünikasyon servisi çeşitliliği sunuyor. 5G ise çok daha akıllı bir teknoloji ile tüm dünyayı birbirine bağlayacak bir gelecek vaad ediyor [5]. Bu kapsamda Şekil 1.2'de görüldüğü üzere Nesillerin getirdiği yenilikler, kullanılan standartlar ve imkanlar teknoloji geliştikçe daha çok çeşitlenmektedir.



Şekil 1.2 Nesillerin Getirdiği Yenilikler, Kullanılan Standartlar ve Teknolojiler

1.2 5G Öncesi Nesiller

5G öncesinde 4 farklı teknoloji ile mobil iletişim, ses, data transferi teknolojik ihtiyaçlar ve yetilerine göre sağlanmış ve sağlanmaya devam etmektedir. Bu nesiller temel olarak;

1.2.1 Sıfırıncı Nesil

Kablosuz telefon teknolojisi 0G ile başlamıştır. Mobil haberleşmenin atası niteliğindeki cep telefonu servisi II. Dünya Savaşı'ndan hemen sonra ortaya çıkmıştır. Bu hücre öncesi günlerde, aramaları ayarlamak için bir mobil operatörünüz ve sadece bir avuç kanalınız vardı. 0G, cep telefonlarının gelmesinden önce otomobillerde bulunan radyo telefonları gibi mobil telefon teknolojisini ifade eder[3].

Bu eski mobil telefon sistemleri, telsiz telefon sistemlerinden, kamusal anahtarlamalı telefon şebekesinin bir parçası olan ticari bir hizmet olarak, kendi telefon numaralarına sahip oldukları için ayırt edilebilir. Bu cep telefonları aslında araç telefonu olarak konumlandırılarak piyasaya sürülmüştür [2].

1.2.2 Birinci Nesil (1G)

1G, cep telefonları olarak bilinen ilk nesil kablosuz telekomünikasyon teknolojisi anlamına gelir. 1980'lerde geliştirilen bu teknoloji analog hücresel yapı şeklinde olup

analog sistem ile sadece ses taşınmasını sağlamaktadır ve 1G teknolojisi, 0G teknolojisinin yerini aldı. İlk nesil kablosuz telefon teknolojisi olan 1G' de analog veri akışı olmasına rağmen bu veri şifrelenmez ve taşınamaz ayrıca parazitlere karşı da dayanıklı değildir. [3]

Halefi 2G, dijital sinyalleri kullanırken 1G analog radyo sinyalleri kullanıyordu. 1G sayesinde, bir sesli arama 150 MHz ve daha yüksek frekanslara modüle edilerek radyo kuleleri arasında iletiliyordu. Bu işlem, frekans bölmeli çoklu erişim (frequency division multiple access, FDMA) adı verilen bir teknik kullanılarak yapılır [3]. Artan abone sayısı, ses kalitesi, servis ihtiyacı ve yüksek servis kalitesi gibi gereksinimler yeni nesil teknolojinin gelişmesine öncülük etmiştir. [4]

Tablo 1.2 1G Özellikleri

Teknoloji	Başlangıç/ Yayılma	Data Band Genişliği	Modülasyon	Anahtarlama
1G	1970 – 1980	2kbps	FDMA	Devre

Genel bağlantı kalitesi bakımından 1G' de düşüktür. Bunun dışında düşük kapasite, güvenilir olmayan handoff, zayıf ses bağlantıları ve hiçbir güvenlik söz konusu olmadığından, bu çağrıları üçüncü taraflarca istenmeyen gizlice dinlemeye açık hale getirmesi gibi olumsuzluklara sahiptir. Bununla birlikte, 1G, 2G'ye göre avantajlı olduğu bazı noktalar da vardı. Bir 1G telefondan yapılan bir arama ise, genellikle 2G cep telefonundan daha düşük bir kaliteye sahip olmakla birlikte daha uzun mesafelere ulaşır. Bu durum, pürüzlü ve açısal bir eğriye sahip olan dijital sinyale kıyasla pürüzsüz bir eğriye sahip olan analog sinyalden kaynaklanmaktadır. Koşullar kötüleştikçe, bir 1G cep telefonundan yapılan aramanın kalitesi giderek kötüleşecektir, ancak 2G cep telefonundan yapılan bir arama tamamen başarısız olacaktır [3].

1.2.3 İkinci Nesil (2G-GSM)

Mobil İletişimin esaslı olarak kullanılmaya başlandığı ilk nesil olup, bu nesilde sesin yanında SMS ve datanın mobil iletişim üzerinden ilk kullanım deneyimide GSM sistemi üzerinden GPRS ve EDGE teknolojileri ile sağlanmıştır.

1.2.3.1 2G(Global System for Mobile Communications, GSM)

1980'lerin sonlarında ortaya çıkan ve 1990'ların sonunda bitmiş olan ikinci nesil 2G sistemi, esas olarak dijital sinyalli ses iletimi ve 64kbps'ye kadar hızlar için planlandı [2]. 2G kablosuz hücresel mobil servisler, öncelikli olarak sesli iletişime odaklanan 1G'nin aksine GSM (Global System for Mobile Communications) teknolojisi ile kısa mesaj servisi (short message service,SMS) imkanıda sağlayarak, 1G servislerinin bir adım ötesine geçti ve . Bu kablosuz haberleşme sistemi daha uzun menzil, daha yüksek ses kalitesi ve kapasitesine sahip olup ses şifreleme imkânı da bulunmaktadır [3]. 2G'nin bant genişliği 30-200 KHz'di. GSM, ses kalitesini iyileştirmek için dijital modülasyon kullanmıştır. Şebeke sınırlı veri servisi sunuyordu ancak 2G operatörleri çağrı, faks, kısa mesaj ve sesli posta gibi ek hizmetler sunmaya başladı.

Haberleşmede gecikme kısıtlaması dikkate alındığından GPRS (veri hızı 150 Kbps) ve EDGE (veri hızı 384 Kbps) gibi sistemler, 2G' de ses iletimine ek olarak veri iletimini de sağlaması için tasarlanmıştır. [5]

"Artan kullanıcı talebi 2G, GPRS ve EDGE gibi 2.5G sistemlerde istenilen yüksek haberleşme kapasitesini sağlayamamış ve daha gelişmiş veri iletim odaklı iletim mekanizmasına olan ihtiyaç doğrultusunda, üçüncü nesil yeni teknolojiler gündeme gelmeye başlamıştır." [3]

Tablo 1.3 2G Özellikleri

Teknoloji	Başlangıç/ Yayılma	Data Band Genişliği	Modülasyon	Anahtarlama	Kullanılan Frekans Bandları (MHz)
2G	1990 – 2004	64kbps	TDMA, FDMA	Devre, Paket	900 - 1800

İlk GSM sistemleri, 900MHz bandında 25MHz frekans spektrumu kullandı. FDMA mevcut 25MHz bant genişliğini her biri 200 kHz'lik 124 taşıyıcı frekansına bölmek için kullanılır. Her frekans daha sonra bir zaman bölmeli çoklu erişim (time division multiple access, TDMA) şeması kullanılarak sekiz zaman dilimine bölünmüştür [6].

2G'nin bazı avantajları dijital sinyallerin daha az pil tüketmesiydi, bu nedenle mobil cihazların pillerinin daha uzun süre dayanmasına yardımcı oluyordu. Ayrıca dijital kodlama, ses netliğini artırır ve hattaki gürültüyü azaltır. Dijital sinyaller çevre dostu olarak kabul edilir. Dijital veri servisinin kullanımı, mobil şebeke operatörlerine, cep

telefonları üzerinden kısa mesaj servisi sağlamada yardımcı olur. Dijital şifreleme bunların yanında gizlilik ve güvenlik de sağlar [3].

2G network ana elemanları, içinde Baz Alıcı-Verici İstasyonu (Base Transceiver Station, BTS) ve Baz İstasyonu Kontrolörleri (Base Station Controller, BSC) bulunan Baz İstasyonu Alt Sistemi (Base Station Subsystem, BSS); ve içinde Mobil Anahtarlama Merkezi (Mobile Switching Center, MSC)'nin bulunduğu Ağ Anahtarlama Alt Sistemi (Network Switching Subsystem, NSS); Ziyaretçi Konum Kütüğü (Visitor Location Register, VLR); Ev Konumu Kütüğü (Home Location Register, HLR); Kimlik Doğrulama Merkezi (Authentication Center, AC) ve Ekipman Kimliği Kütüğü (Equipment Identity Register, EIR)' dır. Bu network, 9,6 kbps'ye kadar konuşma ve veri hizmetleri, faks vb. tüm temel hizmetleri sağlama yeteneğine sahiptir. Bu GSM şebekesi, sabit telefon şebekeleri için bir uzantıya da sahiptir.

Mobil İstasyon(Mobile Station, MS): Mobil Ekipman(Mobile Equipment, ME) adı verilen terminal ekipmanı ve abone verilerinin tutulduğu Kullanıcı Kimlik Modülü(Subscriber Identity Module, SIM) adı verilen ayrı bir modülden oluşmaktadır.

BTS: MS ile BSC arasındaki fiziksel ve radyo iletim arayüzünü sağlanmakla görevlidir. Hücreler, radyo yayını kapsama alanındaki mantıksal bölümlerdir. BTS, bir ağdaki her hücreyi kontrol eder ve bir BSC, bir BTS grubunu kontrol eder.

BSC: Birden çok BTS' in yönetiminden sorumlu birimdir. Ayrıca farklı BTS ve anahtarlama merkezi(switching center,SC) ile BTS'ler arasındaki tüm kontrol fonksiyonlarını ve fiziksel bağlantıları da sağlar. Yüksek kapasiteli bir anahtar olarak, hücre konfigürasyon verileri ve BTS'deki radyo frekansı(radio frequency, RF) güç seviyelerinin kontrolü gibi fonksiyonlar sağlar.

BSS: Radyo yayınlarıyla ilgili tüm işlevlerin gerçekleştirildiği noktadır. BSS, BSC ve BTS'den oluşur.

HLR: Abonenin mevcut konumu dahil olmak üzere, ilgili iletişim ağında kayıtlı olan her bir abone ile ilgili tüm idari bilgileri bulundurur.

VLR: Aboneler hakkındaki tüm geçici bilgileri içeren bir veritabanıdır. Bu bilgi, ziyaret eden abonelere hizmet vermek için MSC tarafından kullanılır.

EIR: Ağdaki tüm geçerli mobil abone istasyonlarının bir listesini içeren bir veritabanıdır[6].

1.2.3.2 2.5G (General Radio Packet Service, GPRS)

Hava arayüzünde veri gönderme zorunluluğu arttıkça, mevcut GSM sistemine GPRS Servis Destek Nodu(Service GPRS Support Node, SGSN) ve GPRS Geçit Destek Nodu(Gateway GPRS Support Node, GGSN) gibi yeni unsurlar eklendi. Bu elemanlar, hava arayüzüne paket veri göndermeyi mümkün kılmıştır. Paket verilerini işleyen ağın bu kısmına paket çekirdek ağı(core network, CN) da denir. SGSN ve GGSN'e ek olarak internet protokolü (internet protocol, IP) yönlendiricileri, güvenlik duvarı sunucuları ve etki alanı adı (domain name system, DNS) sunucularını da içerir. Bu, internete kablosuz erişim ve optimum koşullarda 150 kbps'ye ulaşan bit hızı sağlar [6].

1.2.3.3 2.75G (Enhanced Data GSM Environment, EDGE)

EDGE, GPRS'e bir süpersettir ve operatörün gerekli güncellemeleri yapması koşuluyla, GPRS yüklü olan herhangi bir şebekede çalışabilir. Veri ve bilgilerin net ve hızlı bir şekilde iletilmesini sağlar. Sistemde hem ses hem de veri trafiği hareket ederken, veri oranını arttırma ihtiyacı duyuldu. Bu, internet üzerinden daha karmaşık kodlama yöntemleri kullanılarak ve böylece 384 kbps'ye kadar veri hızını artırarak yapıldı. EDGE teknolojisini kullanmanın en büyük avantajı, EDGE Teknolojisini kullanmak için herhangi bir ek donanım ve yazılım yüklemenize gerek olmamasıydı [3].

1.2.4 Üçüncü Nesil 3G (Universal Mobile Telecommunication System, UMTS)

GSM'in 3G'ye evrimi, mevcut GSM şebekesine aşamalı olarak daha fazla işlevsellik, olasılık ve değer katmakla ilgilidir. Yüksek hız, yüksek veri kapasitesi ve iyi servis kalitesi (quality of service, QoS) arayışıyla, mobil neslin evrimi 3G' ye ulaştı. 3G teknolojisinin ana özellikleri arasında web tabanlı erişim, multimedya servisleri, e-posta ve video konferans bulunmaktadır [7].

Tablo 1.4 UMTS özellikleri

Teknoloji	Başlangıç/ Yayılma	Data Band Genişliği	Modülasyon	Anahtarlama	Kullanılan Frekans Bandları (MHz)
3G	2004-2010	2Mbps	CDMA	Paket	2100

3G teknolojileri, kullanıcılara daha geniş spektrum verimliliği ile daha fazla kapasite sağlarken daha geniş kapsamlı hizmetler sunulmasını sağlar. Ek özellikler ayrıca, BTS'den MS'e iletimde (downlink, DL) 14.4Mbit/sn'ye kadar hız ve MS' den BTS'e

iletimde (uplink, UL) 5.8Mbit/sn'ye kadar hız sağlayabilen yüksek hızlı paket erişimi (high speed packet access, HSPA) veri aktarım özelliklerini içerir. Spektral verimlilik belirli bir dijital iletişim sisteminde belirli bir bant genişliği üzerinden iletilebilecek bilgi miktarını ifade eder. HSPA, mevcut UMTS protokollerinin performansını artıran ve geliştiren bir mobil telefon protokolleri koleksiyonudur.

3G teknolojileri, mobil televizyon, küresel konumlandırma sistemi(global positioning system, GPS) ve video konferans gibi servisleri sağlayabilmektedir. Bu nesilin temel özelliği veri aktarımın hızlı olmasıdır. Aynı zamanda 2G teknolojileriyle uyumlu olup minimum yatırımla daha fazla kapsama ve büyümeye izin verme amacına da sahiptir. 3G, kendinden önceki ağlara göre aşağıdaki geliştirmelere sahiptir:

- Geliştirilmiş ses ve video akışı
- Birkaç Kez daha yüksek veri hızı
- Video konferans desteği
- Web ve kablosuz uygulama protokolü(wireless application protocol, WAP) daha yüksek hızlarda tarama
- İnternet üzerinden TV(IPTV) desteği [3].

Kullanıcı Ekipmanı(User Equipment, UE): 3G' de MS için kullanılan isimdir.

Radyo Ağ Alt Sistemi(Radio Network Subsystem, RNS): Radyo Ağ Kontrolörü(Radio Network Controller, RNC) ve NodeB olmak üzere iki ağ öğesinden oluşur. RNC, radyo kaynaklarını yönetir, hava arayüzü katman 2 ve 3 protokollerini sonlandırır, DL radyo akışını yönetir, güç kontrolü komutları verir.

NodeB: 3G' deki baz istasyonudur. Her bir NodeB yalnızca bir RNC'ye bağlanabilirken, bir RNC yüzlerce NodeB' yi yönetebilir [8].

1.2.5 Dördüncü Nesil 4G (Long Term Evolution, LTE)

Temel olarak 3G teknolojisinden daha fazla bant genişliği ve servis sunan 3G teknolojisinin bir uzantısıdır. 4G teknolojisinin temel beklentisi yüksek kaliteli ses ve video akışıdır. 2010 yılından itibaren mobil geniş bant çağı başlamış olup 4G teknolojileri iletişimde birçok yeniliği de beraberinde getirmiştir. "4G, sabit ve hareketli alıcılar ile yüksek hızda veri iletişimi yapabildiği bir teknolojidir ve uçtan uca IP tabanlı olarak çalışmaktadır." [9]

Tablo 1.5 LTE Özellikleri

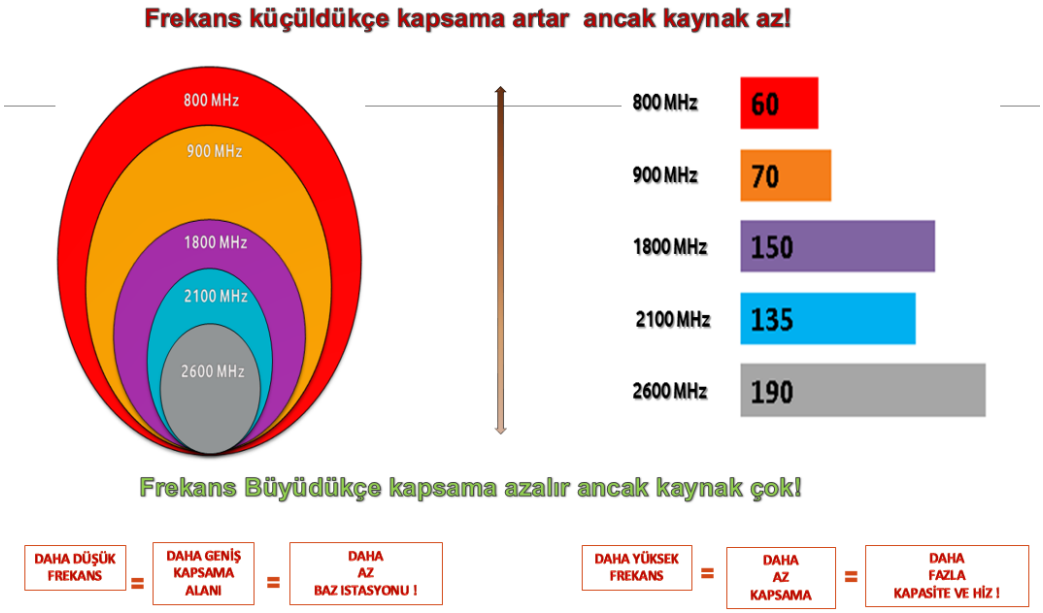
Teknoloji	Başlangıç/ Yayılma	Data Band Genişliği	Modülasyon	Anahtarlama	Kullanılan Frekans Bandları (MHz)
4G	Günümüz	1 Gbps	OFDMA	Tüm Paket	800 - 2600

LTE' nin bir ileri evrimleşmiş halini, Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi (Third Generation Partnership Project, 3GPP), LTE Advanced olarak standartlarının temelini belirledi [10]. LTE Advanced sistemleri için pik spektrum verimliliğinin hedef değerleri, DL ve UL aktarımında sırasıyla 30Bps/Hz ve 15 Bps/Hz olarak ayarlandı. Çoklu erişim şemalarının yanı sıra, gelişmiş çoklu giriş çoklu çıkış (multiple input multiple output, MIMO) kanal iletim teknikleri LTE için anahtar teknikler olarak kabul edildi [11].

4G, farklı teknolojiler arasında sorunsuz geçiş yapabilme, mobil multimedya izleyebilme, geniş kapsama alanında az enerji tüketimi ile yüksek kaliteli bağlantı sağlama gibi özelliklere sahip olup bu özellikleri ile kesintisiz ve HD video transferi, HD görüntülü konuşma, HD ve 3D oyun uygulamaları çalıştırma ve çok yüksek hızda dosya transferi yapmak mümkün hale gelmiştir. [9]

Bu teknoloji WIMAX teknolojisinin devamı niteliğine olup beraber kullanıldığı LTE teknolojisi MİMO teknolojisine izin vermekte ve LTE+ teknolojinin birlikte kullanılması ile 4.5G olarak anılmaya başlanılmıştır. İleri seviyeli hizmet ve uygulamaları desteklemek için veri iletim hızını artırmak adına yüksek hareketlilik gerektiren (hareketli alıcılar) uygulamalar için 100Mbps, düşük hareketlilik gerektiren uygulamalar (sabit alıcılar) için 1Gbps'lik hıza kadar çıkabilmektedir. [12],[9]

Bu kapsamda Ülkemizde 4.5G ile birlikte teknolojiye özel banda kullanımı kalkmış, tahsis edilen tüm bandlar İşletmecilerin kararına göre istedikleri teknolojide kullanımına olanak sağlamıştır. Bu durumda farklı bandlardaki frekansların farklı karakteristik özellikleride ortaya çıkmaktadır. Aşağıdaki Şekil1.3 ile mobil iletişim sistemlerinde kullanılan frekans band aralıklarının karakteristik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 1.3: Frekans ve Bandların Karakterisik Özellikleri

4G kablosuz iletişim standardı için belirlenen bazı hedefler aşağıda belirtilmişti [13]

a. Spektral verimli sistem ve yüksek ağ kapasitesi

b. Yüksek hızlarda 100 Mbps nominal veri hızı.

c. Heterojen ağda sorunsuz geçiş.

d. Kusursuz bağlantı

eNodeB: Sistemin sabit bölümündeki tüm radyoyla ilgili işlevlerin kontrolünde olan bir radyo baz istasyonudur.

Gelişmiş Paket Çekirdeği (Evolved Packet Core, EPC): Alt bileşenler olarak Mobilite Yönetimi Varlığı (Mobile Management Entity, MME), Hizmet Veren Ağ Geçidi (Serving Gateway, SGW) ve Paket Ağ Geçidi (PDN Gateway, PGW) içeren core networktür.

MME: Sinyalleşme birimidir, bu nedenle kullanıcının IP paketleri MME'den geçmez. Başlıca işlevi, kullanıcıların hareketliliğini yönetmektir. Ek olarak, MME ayrıca kimlik doğrulama ve yetkilendirme; idle modda kullanıcı izleme ve kullanıcıya ulaşma; güvenlik görüşmeleri; ve NAS sinyalleri işlemlerini de yürütür. Sinyal için ayrı bir ağ elemanının bir avantajı, operatörlerin sinyal ve trafik kapasitesini bağımsız olarak büyütebilmeleridir.

SGW: S-GW, işletme tesislerinde merkezi olarak tutulan ağ altyapısının bir parçasıdır. S-GW kontrol fonksiyonlarında çok küçük bir role sahiptir. Yalnızca kendi

kaynaklarından sorumludur ve bunları UE için taşıyıcıları kurma, değiştirme veya temizleme ihtiyacı üzerine hareket eden MME, PGW gibi diğer ağ birimlerinin isteklerine dayanarak tahsis eder.

PGW: Sistemdeki en üst düzey mobilite yönlendiricidir ve genellikle UE için ek IP noktası görevi görür. Trafik geçişi ve filtreleme işlevlerini gerçekleştirir. S-GW' ye benzer şekilde PGW' ler, operatör tesislerinde merkezi bir konumda tutulur [14].

1.2.6 Beşinci Nesil (5G)

Kullanıcı ihtiyaçlarının yönlendirdiği yeni hizmet senaryolarının ortaya çıkması, yeni mobil şebeke gereksinimleri yaratmaktadır. 2020 yılından itibaren 5G, yeni nesil mobil iletişim teknolojisi olarak kullanılmaya başlanmıştır. 5G, 4G LTE'yi kaldığı yerden devam ettirip telefon görüşmeleri, SMS, web'de gezinti gibi bilinen işlevlerin yanına minimum gecikme, daha yüksek ve güvenilir bir veri aktarma hızı ekleyecek olup mevcut iletişim teknolojilerinden daha yüksek frekanslarda çalışacaktır. [9]

5G teknolojisinin hayatımıza girmesiyle ile Ultra HD çözünürlükteki videoları indirmenin bu verileri karşıya yüklemenin daha hızlı olmasının yanı sıra dev ağ kapasitesi ile çok daha fazla insana ulaşarak daha stabil bir kullanıcı deneyimi sunmak ve binlerce cihazın (en küçük cihazların bile) internete bağlanabilmesini sağlamak hedeflenmiştir. Bu hedeflerle birlikte tüm sektörler de 5G teknolojisinden faydalanabilmektedirler..

4G'nin devamı niteliğinde olan bu teknolojinin mobil internet hızı, hayata geçtiği zaman, saniyede 20 GB hıza kadar çıkabileceği öngörülmektedir. [2]

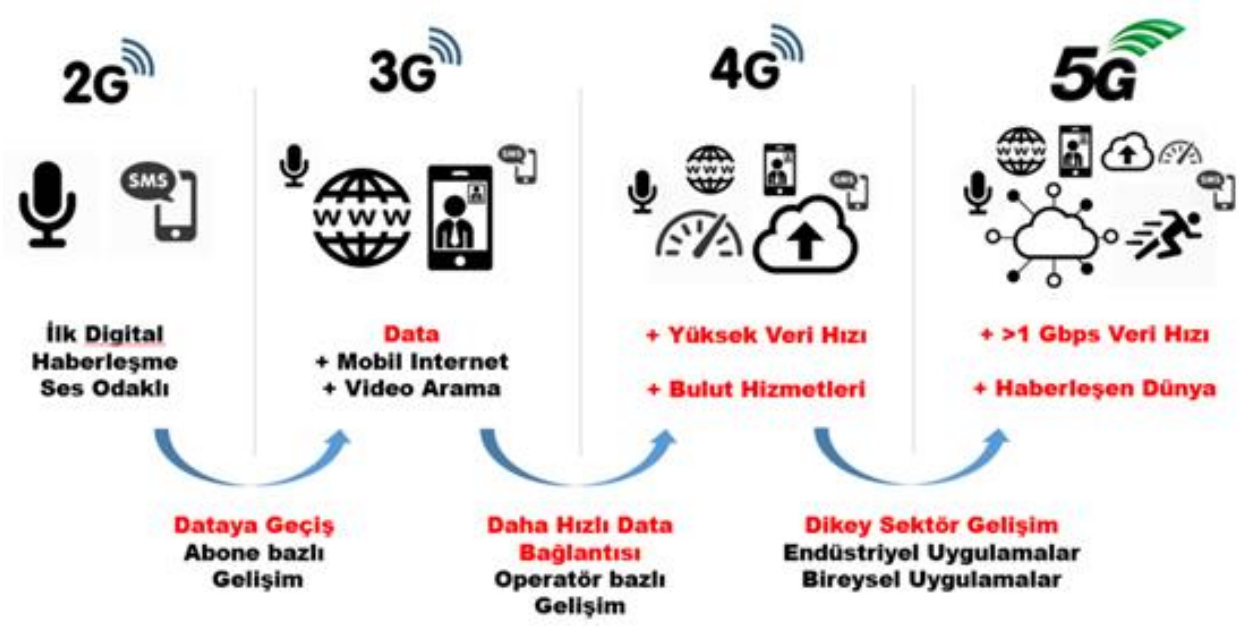
Diğer taraftan, mevcut LTE ağı, merkezi yönlendirme mekanizması da dahil olmak üzere EPC' deki temel problemler nedeniyle ortaya çıkan yeni gereklilikleri yerine getirmek için yeterli değildir. Bu bağlamda, ortaya çıkan kullanım durumları için 5G mobil ağ mimarisinin yeniden tasarlanması gerekir [14].

Tablo 1.6 5G özellikler

Teknoloji	Başlangıç/ Yayılma	Data Band Genişliği	Modülasyon	Anahtarlama	Kullanılan Frekans Bandları (MHz)
5G	2020	1Gbps' in üstünde	f-OFDMA	Tüm Paket	3400 - 700

2020 yılında ticarileşen 5G mobil iletişim sistemi, çeşitli kurum ve standardizasyon kuruluşlarında aktif olarak araştırılmaktadır[15]. 5G şebekesi için en çok bahsedilen kullanım durumlarından bazıları gelişmiş Mobil Geniş Bant (enhanced MBB, eMBB), Masif IoT (Massive IoT, mIoT) ve Hücresel IoT (Cellular IoT, cIoT) servisleridir.

5G'de, tek bir fiziksel ağ üzerinden farklı uygulamalara uyacak şekilde çeşitli servisler sağlanması gerekecektir. Bu gereksinimi desteklemek için 5G çekirdek ağ için ağ dilimi mimarisi öne çıkacaktır. eMBB, mIoT ve cIOT servislerini desteklemek için üç tür ağ dilimi tanımlanır. Her dilim diliminde, şebeke sağlayıcılar ve servis sağlayıcılar için dilimler bağımsız olarak çalıştırılabilir. UE başka bir alana taşındığında, UE tarafından kullanılacak olan yeni bir ağ dilimini tekrar seçme prosedürü, 5G çekirdekli ağdaki kontrol işlemini en aza indirmek üzere tasarlanmıştır. Aynı hizmeti destekleyen ağ dilimi, UE'nin hareketine göre yerel olarak değiştirilebilir, böylece verimli veri yolu yapılandırması mümkün olur. Bu, ağ kaynaklarının verimsiz kullanımını azaltabilir. 5G RAN da dahil olmak üzere 5G ağının uçtan uca dilim mimarisi konusu daha fazla çalışmaya ihtiyaç duymaktadır [14].



Şekil 1.4 Teknolojilerin Gelişimi ve 5G Etkisi

1.2.6.1 5G Çalışma Prensibi

Çoğu operatör başlangıçta, kullanıcılara daha hızlı içerik, daha düşük gecikmeli uygulamalar sağlayan merkezi ve yerel sunucular ile çalışarak sürekli bir bağlantı sağlamak için 5G ağlarını mevcut 4G ağları ile entegre edecektir.

Bir mobil ağın "Radyo Erişim Ağı" ve "Çekirdek Ağı" olmak üzere iki ana bileşeni vardır.

NR(New Radio): 5G için geliştirilen yeni bir hava arayüzüdür. Bir hava arayüzü, mobil cihaz ve aktif baz istasyonu arasındaki devrenin radyo frekansı kısmıdır. Aktif baz istasyonu, kullanıcı hareket halindeyken değişebilir, her geçiş bir handover olarak bilinir.

gNodeB: Yeni baz istasyonuna gNodeB (veya gNB) adı verilmiştir ve eNodeB'nin yerine geçecek yapıdır.

Yeni Nesil Çekirdek Ağı(Next Generation Core Network, NGCN): P2P(peer to peer), bulut bilişim, sanallaştırma gibi teknolojileri kullanan NGCN, yalnızca geleneksel telekom hizmetleri sağlamakla kalmaz, aynı zamanda 4G'deki streaming gibi yüksek bant genişliği tüketim hizmetlerini daha iyi destekler.

1.2.6.2 Radyo Erişim Ağı

“Mobil kullanıcıları ve kablosuz cihazları ana çekirdek ağa bağlayan küçük hücreler, kuleler, direkler, özel bina içi ve ev sistemleri dahil olmak üzere çeşitli tesis türlerinden oluşmaktadır. Küçük hücreler, özellikle bağlantı aralığının çok kısa olduğu yeni milimetre dalga (mmWave) frekanslarında 5G ağlarının önemli bir özelliği olacaktır. Sürekli bir bağlantı sağlamak için, küçük hücreler, geniş alan kapsamı sağlayan makro ağı tamamlayacak kullanıcıların bağlantıya ihtiyaç duydukları yere bağlı olarak kümeler halinde dağıtılacaktır. 5G Makro Hücreler, aynı anda daha fazla veri gönderip almak için birden çok öğe veya bağlantıya sahip MIMO (çoklu giriş ve çoklu çıkış) antenleri kullanacaktır. Kullanıcıların faydası, daha fazla kişinin aynı anda ağa bağlanabilmesi ve yüksek verim elde edebilmesidir.” [15]

1.2.6.3 Çekirdek Ağı

“Tüm mobil ses, veri ve internet bağlantılarını yöneten mobil değişim veri ağıdır. 5G için çekirdek ağ, internet ve bulut tabanlı hizmetlerle daha iyi entegre olacak şekilde

yeniden tasarlanmakta ve ayrıca yanıt sürelerini iyileştiren (gecikmeyi azaltan) ağ boyunca dağıtılmış sunucular da içermektedir. Farklı uygulamalar ve hizmetler için ağ işlevi sanallaştırma ve ağ dilimleme dahil olmak üzere 5G'nin gelişmiş özelliklerinin çoğu, çekirdekte yönetilecektir.” [15]

1.2.6.4 5G’de Kullanılan Band Aralıkları

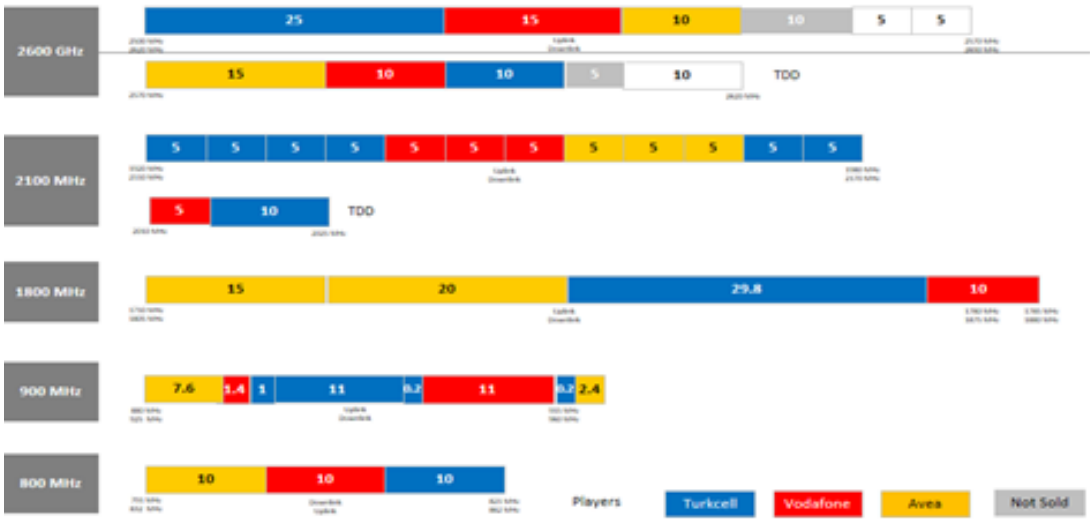
Kablosuz ağ teknolojilerinde kullanılan sinyallerin frekansları arttıkça veri aktarım hızı artarken, sinyalin kapsama alanı yani menzili azalır buna ek olarak yapılardan ve yağmur gibi doğa olaylarından etkilenme oranı artar. Günümüzde kullanılan LTE ve diğer mobil kablosuz ağ standartları 6 GHz altındaki frekans bantlarıyla çalışmakta ve yeterli kapsam alanı yaratsa da veri aktarım hızı, artık günümüz teknoloji ve endüstri ihtiyaçlarını karşılamakta zorlanmaktadır. Bu bağlamda 5G teknolojisi, hali hazırdaki frekans bantlarının yanı sıra 24 GHz ve üstü frekans bantlarını da kullanılmaktadır. LTE’nin aksine 5G’nin altyapısında kullanılacak olan 3 farklı frekans band spektrumu, frekans değerlerine bağlı olarak farklı kapsama alanlarına ve veri transfer hızlarına sahip olacaktır. Kullanılan frekans band spektrumları ise ülkeden ülkeye veya bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir.

Ülkemizde 5G için Öngörülen Bandlar:

• 2G 900 MHz / 1800 MHz'dir,

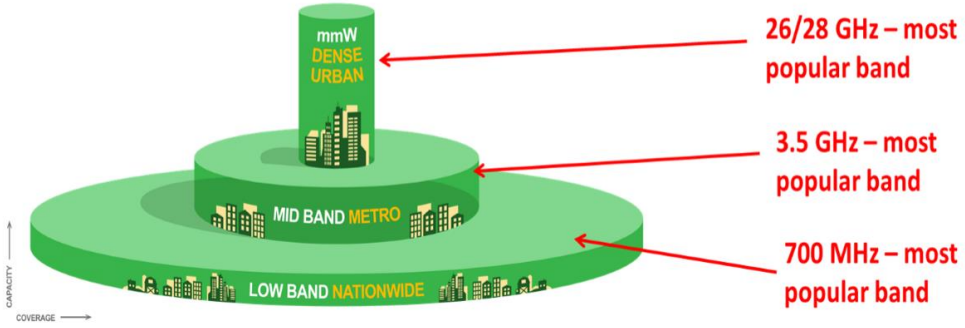
• 3G, Bant 1 olan 2100 MHz'dir (2,1 GHz).

• 4.5G, BTK tarafından verilen yetkilendirme ve Lisans ile Tüm Mobil İşletmecilere 2G ve 3G için sahip oldukları bandlar dahil, ayrıca 800MHz ve 2600MHz bandlarıda açılarak tahsis edilmiş olup; lisanslama ile birlikte isteyen İşletmecinin istediği band ve aralıklarını istediği teknolojide kullanımına olanak sağlanmıştır. Türkiye’de Son yapılan 4.5G lisansları ile birlikte oluşan spektrum dağılım ve kullanımı Şekil.1.5’de gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Türkiye'de Spektrum Dağılımı ve Kullanımı

• 5G, Şekil1.6'da görsel olarakta belirtildiği üzere, 700MHz/3.5GHz ve 26/28GHz popüler uygun bandlardır



Şekil 1.6 5G Bantları ve Kullanım Alanları [17]

1.2.6.5 Düşük (1 GHz Altı) Band Spektrumu

Bu bandların, düşük frekans değerleri olduğundan büyük kapsama alanına sahiptir. Duvar penetrasyonu ve şehir merkezleri dışındaki yerleşim yerlerinde de sıkça tercih edileceklerdir. Ancak en büyük dezavantajı, en yüksek veri hızlarının 100 Mbps civarına çıkabilecek olmasıdır. [16]

"Avrupa'da bulunan birçok ülke 5G için 700 MHz bandını kullanırken, Türkiye'deki GSM operatörleri LTE standardı için 800 MHz ve 900 MHz bantlarını kullanıma sunmuştur. Aynı şekilde 5G için de bu frekans bantları kullanılır hale getirilebilecektir." [17]

1.2.6.6 Orta (1GHz-6 GHz) Bant Spektrumu

Bu bandlar hem kapsam alanı hem de kapasite bakımından 5G için oldukça önemlidir. Ayrıca düşük banddan daha hızlı ve düşük gecikme süresi sağlamaktadır. Ancak düşük bant spektrumu kadar etkili bir şekilde binalara nüfuz edemezler ve veri hızları 1 Gbps'ye kadar çıkabilecektir. [16]

Avrupa'da bulunan operatörler tarafından 3.3–3.8 GHz ve 3.8–4.2 GHz bantları oldukça yoğun olarak kullanılacaktır. Türkiye'deki operatör firmaları ise 1.8 GHz, 2.1 GHz ve 2.6 GHz bantlarını LTE standardı için aktif olarak kullanmakta olup 5G için de bu frekans bantları kullanılabilecektir. [17]

1.2.6.7 Yüksek (6 GHz ve Üstü) Band Spektrumu

Bu bandlar, 'mmWave' olarak da bilinen 5G için en önemli, en kritik olan 24 GHz ve üstü frekans bandlarıdır. 5G için en yüksek performansı sağlayan bu band, 10–20 Gbps'ye kadar veri hızına çıkmakta ve son derece düşük gecikme süresi sunmaktadır. Ancak yüksek bandın ana dezavantajı, mm mertebelerinde düşük kapsama alanına sahip olması ve bina penetrasyonunun zayıf olmasıdır. Kapsama alanı problemi ise küçük hücreler (small cells) adı verilen çok sayıda düşük güçlü baz istasyonları kullanılarak aşılacak olup geniş kapsam alanları elde edilecektir. [16],[17] "ITU (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği) 'ya sunulan raporlarda Türkiye kısa vadede 24.25–27.5 GHz frekans bandını, orta vadede 40.5–43.5 GHz ve 66–71 GHz bantlarını kullanmayı öngörmektedir." [17]

1.2.6.8 5G Hızı ve Verimliliği

1.2.6.8.1 En Yüksek Veri Hızı

5G önemli ölçüde daha yüksek veri hızları sunacaktır. En yüksek veri hızı mobil baz istasyonu başına teorik olarak 20 Gbps' e kadar ulaşacaktır ancak bu hız hücredeki tüm kullanıcılar tarafından da paylaşılacağı için son kullanıcının hızında özel bir bağlantı yoksa saniyede 1 Gbit/s seviyesine kadar düşecektir. Ancak bu hız seviyesinde bile 100 GB' lık bir filmin 2 dakika içerisinde indirilmesini sağlayacaktır. [18]

1.2.6.8.2 Gecikme Süresi

Verilerin bir noktadan diğerine gitmesi için geçen süre, ideal koşullarda 4 ms ve en yüksek hızı gerektiren kullanım durumları için ise 1 ms (milisaniye) olmalıdır. Uzaktan yapılacak olan ameliyatlar için gecikme süresi büyük önem arz etmektedir. [16]

1.2.6.8.3 Bağlantı Yoğunluğu

Standart 5G şehirleri km^2 başına 1 milyon bağlı cihazı desteklemelidir ve LTE'den çok daha fazla bağlı cihaz anlamına gelir. [17]

1.2.6.8.4 Verimlilik

"Radyo arayüzleri kullanım sırasında iken enerji açısından verimli olmalı ve kullanılmadığında düşük enerji moduna geçmelidir. İdeal olarak, bir radyo artık kullanılmadığında 10 milisaniye içinde düşük enerjili bir duruma geçebilmelidir. [16]

1.2.6.8.5 Spektral Verimlilik

"Spektral verimlilik "spektrumun veya bant genişliğinin optimize edilmiş kullanımıdır. Böylelikle maksimum veri miktarı, en az iletim hatasıyla iletilebilir." 5G, LTE'ye göre aşağı bağlantıda 30 bit/Hz, yukarı bağlantıda ise 15 bit/Hz gelen geliştirilmiş bir spektral verimliliğe sahip olmalıdır." [16]

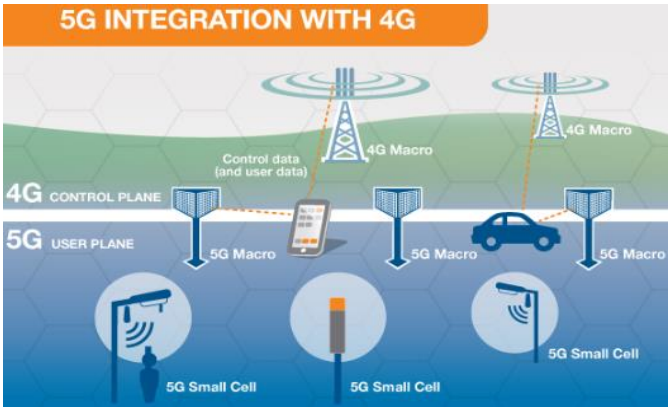
1.2.6.8.6 Hareketlilik

"5G ile baz istasyonları 0 ile 500 km/saat arasındaki hareketi desteklemelidir. Bu temel olarak, baz istasyonunun yüksek hızlı bir trende bile bir dizi anten hareketinde çalışması gerektiği anlamına gelmektedir. LTE ağlarında kolayca yapılırken, bu hareketlilik yeni milimetre dalga ağlarında zor olabilmektedir." [16]

1.2.6.9 5G ve 4G Arasındaki Farklılıklar

5G, 4G'nin devamı niteliğinde olup birbirleri ile entegreli çalışacaklardır. Sınırlı 5G kapsama alanı olduğunda, veriler sürekli bağlantı sağlayan 4G ağında taşınarak 5G ağı, mevcut 4G ağ üstünü tamamlayacaktır. Yani, bir 5G bağlantısı kurulduğunda kullanıcının ekipmanı, kontrol sinyalini sağlamak için hem 4G ağına hem de mevcut

4G kapasitesine eklenerek, hızlı veri bağlantısının sağlanmasına yardımcı olmak için 5G ağına bağlanacaktır. [15]



Şekil 1.7 5G ve 4G Entegrasyonu [15]

Birbirleri ile entegreli olarak çalışmalarına rağmen iki teknoloji arasında (Şekil 1.7) temel farklılıklar bulunmaktadır.

►5G, 4G'den daha hızlı ve daha verimlidir.

►5G, Saniyede 100 GB kadar hızlarda 4G' den 100 kat daha hızlı olacak şekilde tasarlanmıştır.

► 5G, gecikmeleri ve cihazların kablosuz ağlar ile iletişim kurması için geçen süreyi önemli ölçüde azaltacaktır.

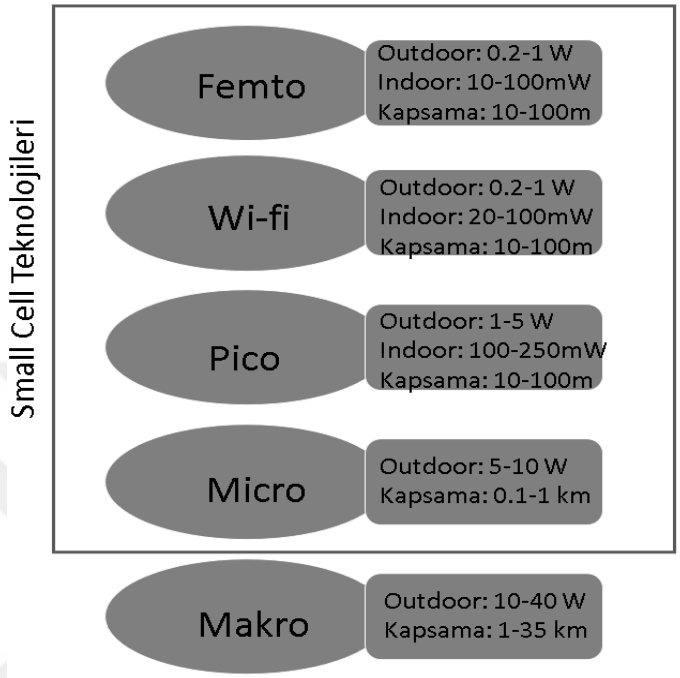
►5G, 4G'den daha yüksek kapasiteye sahip olmayı sağlamakta ve daha yüksek mobil geniş bant kullanıcısı yoğunluğunu desteklemektedir.

►5G, daha düşük pil tüketimini hedeflemektedir. [19]

1.2.6.10 Small Cell Teknolojileri

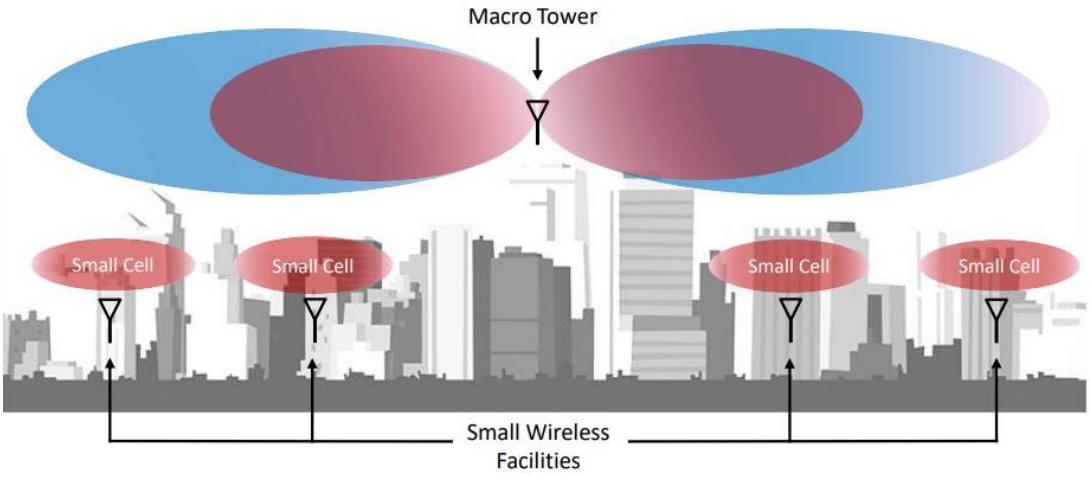
Küçük hücreler, daha büyük makro hücreli kulelerden cep telefonu hizmetini tamamlamak için kullanılan tam özellikli, kısa menzilli cep telefonu baz istasyonlarıdır. Çoğunlukla yüksek bant genişliği ihtiyacı olan teknolojilerin sürekli büyüyen abone tabanıyla ilişkili ihtiyaçlar nedeniyle geliştirilmektedir. Küçük hücreli baz istasyonları kolayca kurulabilir, uygun maliyetli, düşük güçlü kablosuz erişim noktasıdır. Belirli bir alanda sınırlı sayıda kullanıcıya hizmet verecek şekilde konumlandırılarak ve kapsama alanına bağlı olarak genellikle femtocell, pikosell, metro hücresi veya mikro hücre olarak sınıflandırılırlar. Hem ses hem de veri için evde, ofiste ve ortak alanlarda

mükemmel cep telefonu kapsama alanı ve veri hızları sunarlar. 3G, 4G/LTE ve 5G teknolojileri için küçük hücreler geliştirilmiştir. Kablosuz taşıyıcılar "5G" nin veri kapasitesi taleplerini karşılamak için mevcut kablosuz ağları "yoğunlaştırmaya" çalışırken; küçük hücreler şu anda aynı frekansların yeniden kullanımına izin veren bir çözüm olarak görülüyor. [21]

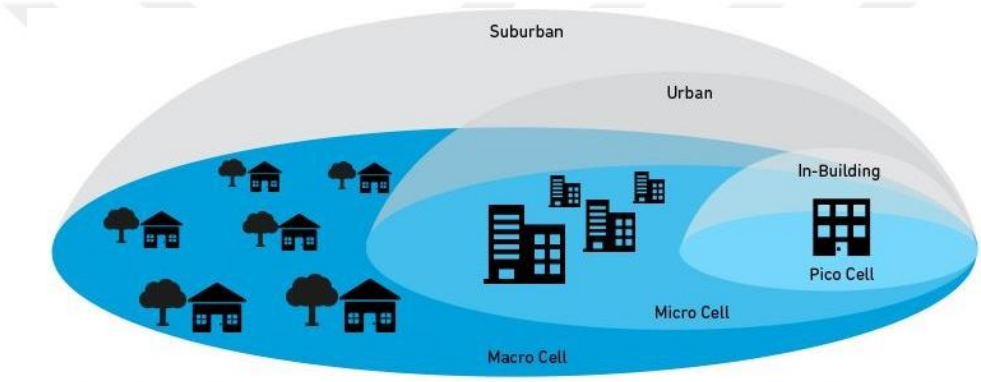


Şekil 1.8 Small Cell Teknolojileri

Şekil 1.8'da smallcell teknolojileri kapsama alanları ve açık veya kapalı alan olmasına göre güçleri gösterilmiştir. Şekil 1.9'de smallcell kullanım alanları gösterilmiş olup; Şekil 1.10'de baz istasyonları tiplerinin coğrafik ve bölgesel olarak konumlandırılması gösterilmiştir. Makro cell stadyum, park, şehir ve köy; micro cell park, şehir ve köy; pico cell park, şehir, köy ve ev; wifi tüm alanlarda; femto cell ise evlerde kullanılabilir.



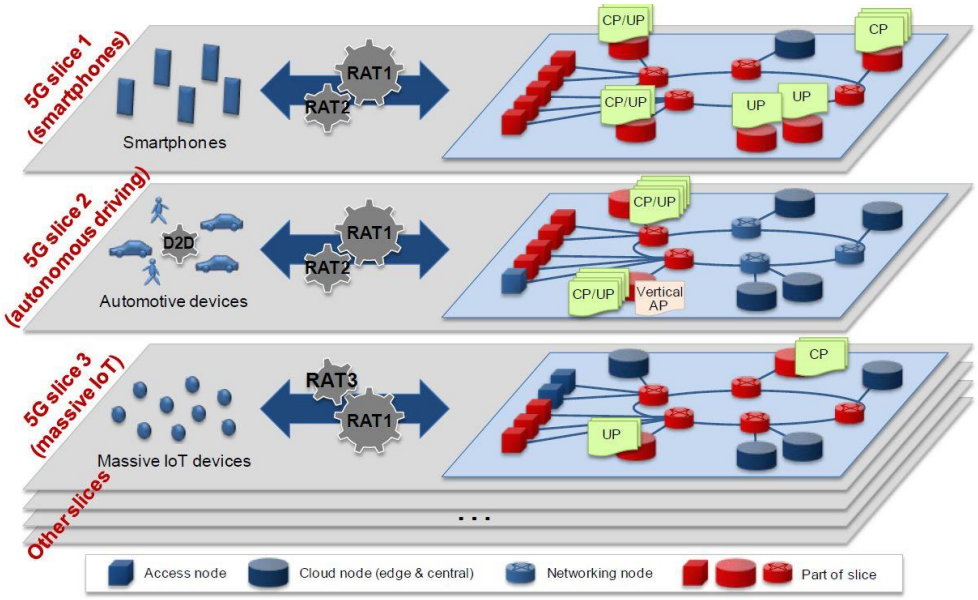
Şekil 1.9: Makro Kuleler ve Küçük Kablosuz Tesisler [21]



Şekil 1.10: Baz İstasyon Tipleri Bölgesel Kullanımları [21]

1.2.6.11 Ağ Dilimleme (Slicing) Konsepti

5G'de ortaya çıkacak olan çok çeşitli kullanım durumları, RAN alanı içindeki 1 ms'den (milisaniye) daha az gecikme süresi başta olmak üzere bir sürü yeni gereksinimler doğurmaktadır. Ayrıca veri hızı açısından da oldukça yüksek özellikler ve ağ yapıları da gerektirirler. Bu ortaya çıkan talepler mevcut 4G şebekesi tarafından karşılanamamaktadır, çünkü şu ana kadar cep telefonlarına hizmet vermek için optimize edilmiştir [22]. Bununla birlikte, 5G döneminde, 5G şebekesinin farklı özelliklere ve ihtiyaçlara sahip çeşitli cihazlara hizmet etmesi söz konusu olacaktır. 5G ağı, tüm bu talepleri ağ sanallaştırma teknolojisini kullanan ağ dilimli mimari kullanarak karşılayacaktır. 5G networkü, çeşitli heterojen özelliklere sahip hizmetler sağlamak üzere belirli ağ işlevleriyle yapılandırılmış ağ dilimi adı verilen birçok mantıksal ağa bölünecektir [23].



Şekil 1.11 Network Slicing (Ağ Dilimleme) Konsepti [23]

Şekil 1.11 aynı altyapı üzerinde aynı anda işletilen birden fazla 5G şebeke diliminin bir örneğini göstermektedir [25]. Örneğin, tipik akıllı telefon hizmeti için bir 5G şebeke dilimi, şebekeye dağıtılmış işlevleri ayarlayarak gerçekleştirilebilir. Otonom araçlar için olan 5G ağ diliminde, tüm işlevler gecikme kısıtlamaları nedeniyle bulut düğümünde başlatılabilir. Büyük IoT cihazlarını destekleyen bir 5G ağ dilimi için, ihtiyaçları doğrultusunda diğer iki dilimden farklı bir mimari kullanılabilir [24].

1.2.6.12 Milimetre Dalgalar (millimeter waves, mmWaves)

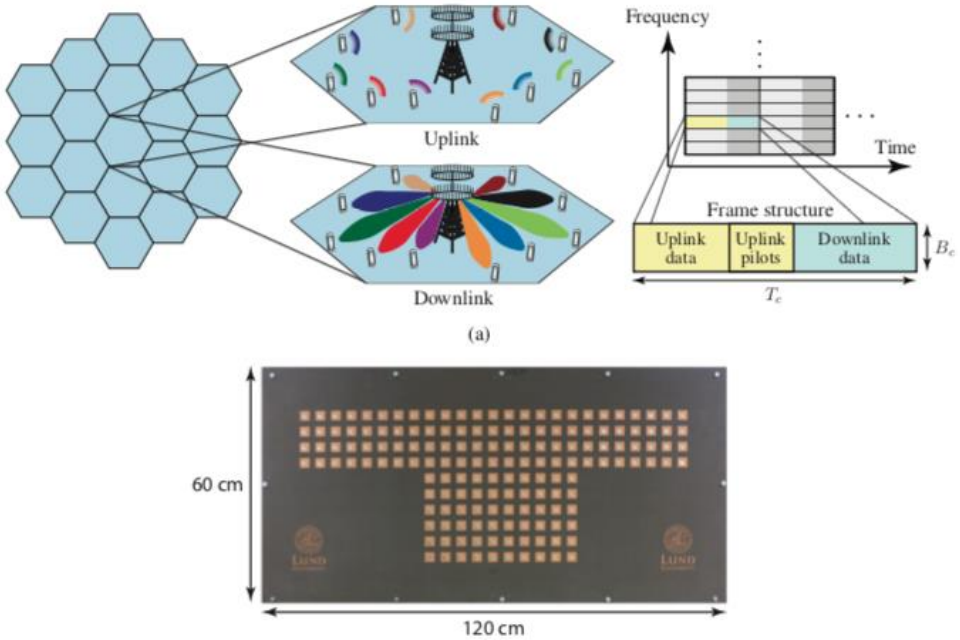
Geleneksel olarak, mmWave spektrumu, kısa süreli yüksek çözünürlüklü multimedya akışlarını taşımak için kullanılmıştır. Daha yaygın bir uygulama bulamamış olmasının sebebi çok küçük dalgaboylarının çok yüksek yayılma kaybına uğruyor olmasıdır. Ancak 5G'de bu spektrum mobil sistemlerde kullanılacaktır[26]. Yayılım özelliklerinin derinlemesine analizinden sonra, mmWave teknolojisinin önümüzdeki uzun yıllar boyunca mobil geniş bant uygulamaları için gerekli bant genişliğini potansiyel olarak sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

28 GHz ve 38 GHz frekansları, 5G sistemlerinde kullanımlarının önünü açarak farklı ortamlarda yayılma özelliklerini anlamak için kapsamlı olarak incelenmiştir. MmWave teknolojisinin iki temel özelliği, çok miktarda bant genişliği ve çok sayıda antene izin veren çok küçük dalga boyları olarak tanımlanmaktadır. Öte yandan, mmWave iletişimlerinin önündeki en büyük zorluklar arasında özellikle görüş hattı(line of sight, LoS) olmayan yayılım ile çok büyük olan yol kaybıdır. Ortamdaki nesneler tarafından

sinyal absorpsiyonun yanında mevcut amplifikatörlerin düşük iletim gücü yeteneği de sayılabilir. Hüzmeleme (beamforming) seçim algoritmaları tarafından sürülen büyük anten dizileri kullanılarak bu zorlukların çözümlenmesinin mümkün olduğu bulunmuştur [27].

1.2.6.13 Massive MIMO (m-MIMO)

M-MIMO, her bir baz istasyonunun bir dizi aktif anten elementi ile donatıldığı ve bunları aynı anda ve frekans bandında tek anten terminalleriyle iletişim kurmak için kullandığı çok kullanıcılı bir MIMO teknolojisidir. MIMO konsepti onlarca yıldır var, ancak anten sayısının masif olarak tabir edilecek sayılarda kullanılarak daha fazla radyo yayınımı dağıtma vizyonu göreceli olarak yenidir [28]. Şekil 1.12'da görüldüğü üzere sinyallerin dizi üzerinde tutarlı bir şekilde işlenmesiyle, her bir sinyali istenen terminalde odaklamak için alt bağlantıda iletim ön kodlaması kullanılabilir ve alıcı bağlantı birleştirme, farklı terminallerden gönderilen sinyaller arasında ayrım yapmak için üst bağlantıda kullanılabilir. Ne kadar çok anten kullanılırsa, mekansal odaklanma o kadar iyi olur [29].



Şekil 1.12 M-MIMO Sistemi Örneği [20]

<u>m-MIMO'nun potansiyeli</u>

- m-MIMO, kapasiteyi 10 kat veya daha fazla artırabilir ve aynı anda, yayılan enerji verimliliğini 100 kat artırabilir.

- m-MIMO, ucuz, düşük güçlü bileşenlerle üretilebilir.
- m-MIMO, hava arayüzünde gecikme süresinde önemli bir azalma sağlar.
- m-MIMO, çoklu erişim katmanını basitleştirir.
- m-MIMO, hem istenmeyen insan kaynaklı girişime hem de kasıtlı sıkışmaya karşı dayanıklılığı artırır.
- Daha fazla anten daha olası sinyal yolu ve daha iyi performanstır.
- m-MIMO daha yüksek frekans bandındaki iletilen cihazlara daha duyarlıdır yani kapsama alanını arttırır.
- m-MIMO ağları ışın spektrum teknolojisini kullanacak ve spektrumun kullanılan hedefini aktif edecektir.
- Bu teknolojiyle yoğun nüfuslu alanlarda yaşanan darboğazdan kaynaklanan performans sorunları çok daha akıllıca ve efektif olarak halledilecektir. Veri hızları ve gecikme ağ boyunca daha düzgün olacaktır. [29]

1.2.6.14 Ağ Yoğunlaştırma(Network Densification)

Hücre boyutunun küçültülmesi, operatörlerin artan veri hızı talepleri için kullanabileceği çözümlerden biridir. Sıkça ortaya çıkan soru, spektral verimliliğin daha yüksek tekrar kullanımla nasıl arttırılacağıdır. Cevap, doğrudan hücre boyutunu azaltmaktır. İletim gücünü azaltmaya gelince, yayılma gücü kaybının düşük olması durumunda yapılabilir. Diğer taraftan, gerektiğinde makro hücrelerden taşma trafiği sağlama varsayımıyla iç mekan hücrelerinin konuşlandırılmasıyla kapsama alanı iyileştirilir. Erişim ağı mimarisindeki bazı değişiklikler nedeniyle, veri ve kontrol sinyallerinin internet üzerinden yönlendirilmesine izin verilmektedir. Küçük hücreler, düşük güçlü kentsel ortamda kullanılan femtoseller veya daha yüksek güçlü makrosel kapsama boşluklarını doldurmak için kullanılan pikosellerdir [27].

1.2.6.15 Hüzmeleme (Beamforming)

Beamforming özellikli anten dizileri 5G uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Daha yüksek bir kazancın yanı sıra, bu anten tipleri karmaşık ışın oluşturma yetenekleri sunar. Bu, kullanıcı gruplarının doğrudan hedeflenmesi yoluyla şekil 1.13'de gösterildiği gibi hücresel ağların kapasitesini artırmaya izin verir. Dar iletim ışınları aynı anda radyo ortamındaki parazit miktarını azaltır ve alıcı terminalde daha büyük mesafelerde yeterli sinyal gücünün korunmasını mümkün kılar [30].



Şekil 1.13 Hüzmeleme Örneği

Özetle;

- Hüzmeleme sinyal iletimi veya alımı için bir sinyal işleme tekniğidir.
- Kapsamayı genişletir.
- Hotspot kapasitesini attırır.
- M-MIMO ile bu teknik dahada gelişmiştir.

Üç boyutlu beamforming (three dimensional beamforming, 3DBF)'de radyasyon ışını modeli, sistem tasarımlarında daha fazla serbestlik derecesi sağlayan hem dikey hem de yatay düzlemde uyarlanmıştır. Sayısal simülasyonlar sayesinde, 5G sistem tasarımlarında önemli bir rol oynamaktadır [31].

1.2.6.16 Modulasyon (filtered orthogonal frequency division multiplexing, f-OFDM)

Mobil iletişim altyapısında farklı teknolojilerde farklı çoklu erişim modelleri ve özellikleri vardır. Konvansiyonel OFDM ile, sağlanan bant genişliği boyunca birleştirilmiş bir numeroloji uygulanır, kanal özellikleri ve servis gereksinimleri arasında dengeleme yapılır. Buna karşılık, f-OFDM ile atanmış bant genişliği birkaç alt bantta bölünür ve farklı hizmet türleri farklı alt bantlarda, en uygun dalga formu ve numerolojiye sahiptir, bu da gelişmiş bir spektrum kullanımını sağlamış olur.

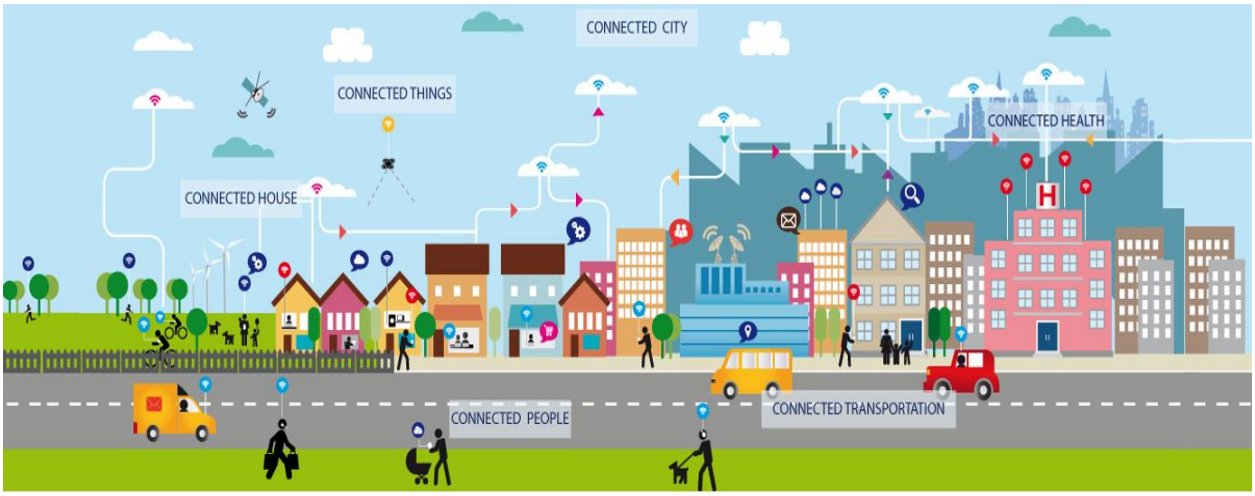
Farklı senaryolar üzerinden yapılan simülasyonlar, f-OFDM'nin, geleneksel OFDM programına göre% 46'ya varan verim kazancı sağladığını göstermektedir [32].

1.2.6.17 5G Kullanım Alanları ve Getireceği Yenilikler

İnternet büyümekte ve gelişmektedir. İnternetin ortaya çıktığı ilk zamanlarda bu ilerleme yavaş gerçekleşmekteydi. Günümüzde ise ağların ağı olarak ifade edilen internetin iletişim kapasitesi ve hızı ilk zamanlarına göre olağanüstü seviyelere ulaşmıştır. İnternetin gelişen teknolojileri her türlü cihazın/nesnenin kendisine bağlantı kurmasına olanak sağlamaktadır. 3G ile başlayan ve 4G ile devam eden kısaca Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) diye adlandırılan ve artık sadece insanların değil nesnelerinde iletişimin içinde kullanıcı olduğu kurguda 5G ile birlikte birçok uygulama ile de hayatı kolaylaştıracaktır.

1.2.6.17.1 Nesnelerin İnterneti (IOT)

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) kavramı modern kablosuz iletişim teknolojilerinin gelişimi ile popülaritesi artan bir kavramdır. Bu kavramın oluşumu nesnelerin birbirleriyle haberleşmesini sağlayarak insan hayatını kolaylaştırmaya yönelik uygulamaların geliştirilmesidir [33]. IoT standart iletişim protokolleri üzerine kurulu ve adreslenebilme özelliğine sahip nesnelerin, internet aracılığı ile haberleşebilmesidir [34]. 2025 yılına kadar mevcutta kullanılan system ve uygulamaların yanında mobilya, kağıt dokümanlar, besin maddeleri, elektronik cihazlar gibi daha bir çok nesnenin internete bağlı olacağı öngörülmektedir [35].



Kısa bir zaman içerisinde internet insanoğlunun çalışma, yaşam, öğrenme gibi yeteneklerine farklı bir boyut kazandırmıştır. IoT ise bunu akıllı ev, akıllı şehir, akıllı

tarim, akıllı stadyum gibi daha farklı bir boyuta taşımaktadır. İnternete bağlı olan geleneksel cihazlar dışındaki nesnelerin internet ortamından kontrolünün sağlanabilmesi ve analizlerinin yapılabilmesi ile IoT dönemi başlamıştır. Nesnelerin İnterneti; insan müdahalesine ve herhangi bir verinin manuel girişine gerek olmadan cihazların veya makinelerin kendi aralarında veri iletişimi yaptığı, bilgi topladığı ve toplanan veriler ile karar verdiği bir ağ yapısı olarak tanımlanmaktadır [36].

IoT için şu tanımları yapmak da mümkündür:

- Nesnelerin interneti, benzersiz bir şekilde adreslenebilen nesnelerin kendi aralarında oluşturduğu, dünya çapında yaygın bir ağ ve bu ağdaki nesnelerin belirli bir protokol ile birbirleriyle iletişim içinde olmalarıdır,
- Nesnelerin İnterneti, günlük hayatta kullanılan nesnelerin internet aracılığıyla diğer nesnelerle veri alışverişi yapabilmesi ve bu nesnelerin birbirleriyle tamamen senkronizasyon halinde olma durumudur,
- IoT insanların hayatlarını kolaylaştıran ve yaşam standartlarını yükselten akıllı uygulama ve hizmetlerin ekosistemidir.
- Nesnelerin interneti, aslında günlük hayatta kullanılan cihazların ağ teknolojisine yani internete dahil olmasını ve gerektiğinde birbirleriyle iletişim kurmasını tanımlar. Örneğin:
- Buzdolabında sütün bittiğini haber verip, arabanın GPS'sini en yakın markete yönlendirilmesi ve bu noktada telefonla ödeme yapılabilmesi,
- Arabaları takip eden sistemler ile herhangi bir kaza anında bunu algılayıp yardım çağrılabilmesi,
- Kapıları kilitleyen, alarmı kuran ve bu aygıtları açıp kapatabilen ev araçları uygulamaları,
- Televizyonlar, ev sunucu ve depoları, panjur sistemleri, bebek monitörleri vb. cihazların çevrimiçi kontrolü,
- Sağlık uygulamaları ile hastaya ve doktoruna ihtiyacı olan bilgilerin aktarılması ve hastanın sağlığı ile ilgili olumsuz durumların önceden belirlenmesi, IoT'ye birer örnektir.

1.2.6.17.2 Nesnelerin İnternetinin Uygulamaları

Bilişim sistemleri bilgi ve veriyi işlemek için kullanılan ve insanlar arasında bu değişimine izin veren ağ altyapısını, telekomünikasyonu ve yazılımsal uygulamaları ifade ederler.

IoT uygulaması geliştirmek için bu uygulamaların birlikte çalışabilirliğini sağlamak çok önemlidir. Bu birlikteliğin sağlanması ile birçok alanda IoT uygulamaları uygulanabilmektedir. Bu uygulamalar ile insan hayatına kolaylıklar sağlanabilmektedir. Buna göre;

1. Enerji tüketiminde opsiyonel kullanımının sağlanması,

2. Askeri alandaki uygulamalarda kolaylık sağlanması,

3. Yapılacak işin tek bir yerden değil de istenilen yerden istenildiği şekilde ve istenildiği zamanda yapılabilmesi kolaylığının sağlanması gibi IoT'nin sağladığı bazı kolaylıklar görülebilir.

Şekil 1.14'de gösterildiği üzere nesnelerin interneti birçok alanda uygulanabilmektedir. Bu alanların bazıları şunlardır [37]:

- Akıllı ev uygulamaları,
- Akıllı şehir uygulamaları,
- Bilimsel çalışma uygulamaları,
- Bilişim sektörü uygulamaları,
- Enerji uygulamaları,
- Günlük kullanım uygulamaları,
- Güvenlik uygulamaları,
- İmalat/üretim uygulamaları,
- İnşaat uygulamaları,
- Kamu sektörü uygulamaları,
- Sağlık uygulamaları,
- Servis Sağlayıcı uygulamaları,
- Tarımsal üretim uygulamaları,
- Taşımacılık uygulamaları,
- Ticaret uygulamaları.

Bu kapsamda 5G'den tüm sektörlerin faydalanarak; akıllı fabrikaların artması, ulaşımda güvenliğin gelişmesi, uzaktan erişimli sağlık sistemlerinin ortaya çıkması, akıllı hassas tarım sistemlerinin kurulması gibi birçok gelişmenin gerçekleşmesi öngörülmektedir.

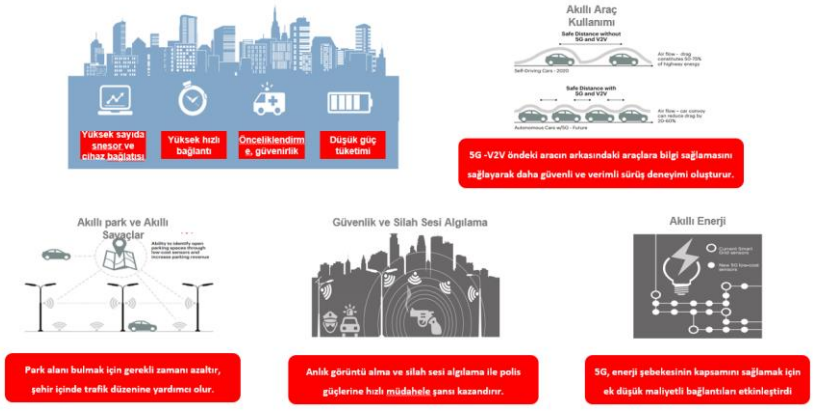
Gelişen teknoloji ile akıllı durak, otopark, kavşak, aydınlatma, sulama, geri dönüşüm, güvenlik ve sağlık konularında akıllı şehir çözümleri üretilecek olup bireylerin daha konforlu bir yaşama ulaşması sağlanırken, belediyelerin de temel giderlerinde önemli miktarlarda tasarrufa gidilecektir.



Şekil 1.14 Başlıca IoT Uygulamaları [37]

1.2.6.17.3 Akıllı Şehirler

Akıllı şehirlerin çok önemli bir parçası olacak olan akıllı ulaşım sistemleri ile ihtiyaca göre şeritlerin akış yönü değiştirilebilecek, toplu taşıma saatleri güncellenebilecek ve var olan yollara kısıtlamalar uyarlanabilecek olup bu sayede toplu ulaşımın süresi kısaltılacaktır. Bunun yanı sıra kişisel araç kullanımlarının azaltılması da hedefler arasındadır (Şekil 1.15).



Şekil 1.15 Akıllı Şehirler

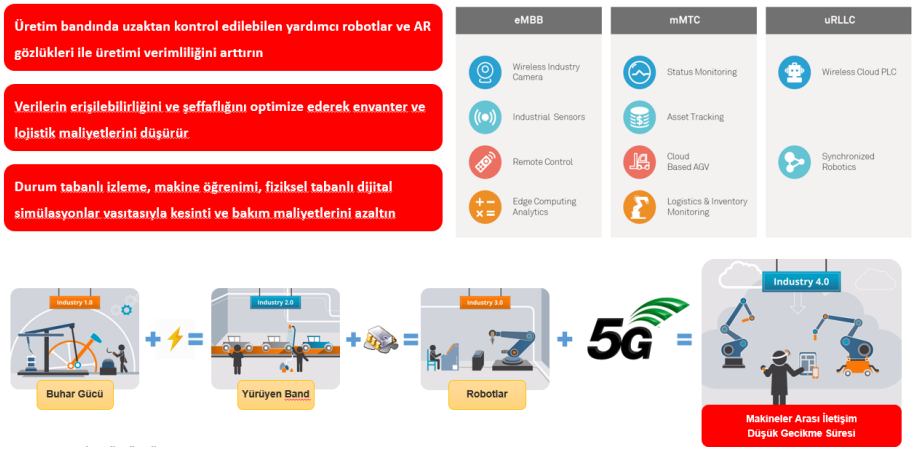
1.2.6.17.4 Medikal Uygulamaları

Mobil haberleşme ve internetin hızla yayılması sağlık sektörünü de olumlu yönde etkilemiştir Daha fazla tıbbi cihazın internete bağlanması ile doktorlar, hastaları daha uzun süreli ve uzaktan takip edebilecektirler. Bu sayede sağlık hizmetleri coğrafi açıdan genişleyecektir. Ayrıca giyilebilir cihazlar, çok önemli hayati verileri doktorlara ileterek, kritik değişikliklerde uyarılar verecektir. En önemli gelişmelerden biri ise 5G ile birlikte gecikme sürelerinin 1 milisaniyeler mertebesine ulaşması ile çok uzaklardan ameliyatların gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayacak olmasıdır.

5G'nin gelişmesi ve yerleşmesi ile dron teknolojisi ve uygulamalarında çok büyük atılımlar gerçekleşecektir. Bu teknoloji sayesinde anlık veri aktarımı yapabilen, yerde ve havadaki diğer araçlarla daima koordinasyon içinde çalışan dronlar; tarım, hayvancılık, meteoroloji, arama kurtarma, haritacılık ve güvenlik gibi birçok farklı alanda çeşitli uygulamalara olanak tanıyacaktır. Fazla ağır olmayan kargoların dronlar sayesinde taşınması, hem taşımacılık ve ticaretin genelinde kolaylık ve büyüme imkânı sağlayacak hem de trafikteki araç sayısını azaltarak kara ulaşımında iyileştirme sağlayacaktır.

1.2.6.17.5 Sanayi ve Endüstri Uygulamaları

5G ile gelen Nesnelerin İnterneti içeriği ile Şekil 1.16'de gösterildiği üzere sanayide akıllı fabrikalar gelişecektir. Bu fabrikalarda kullanılacak olan milyarlarca irili ufaklı ekipman da 5G' ye bağlı olacaklar ve bu ekipmanlar birbirleri ile uyum içerisinde çalışmalıdırlar. Bundan dolayı yapılacak 5G çalışmalarının, akıllı fabrikalardaki cihazlar arasında kesintisiz bilgi akışını sağlayacak zemini oluşturması gerekmektedir.



Şekil 1.16 Sanayi ve Endüstri Uygulamaları

“Bugünün ağ sahipleri pek çok değerli veri barındırır. Bu değerli verilere erişim, şu an bile pek çok kötü niyetli kullanıcıyı çekmektedir. 5G ile gelişecek alanların çok daha fazla değer taşıması sebebiyle siber atakların da artacağı öngörülmektedir. Saldırıların olası sonuçları düşünülünce, kişisel ya da iş odaklı olmanın ötesinde toplumsal sonuçları olacaktır. Bu toplumsal sonuçlar can kayıplarından uluslararası krizlere kadar çok çeşitli şekillerde gerçekleşebilir. Bu da farklı alan ve uygulamalar için çeşitli güvenlik alanlarını güçlendirmeyi gerektirir. [38]

1.2.6.17.6 Sanal Penaltı Atışı

Çinli bir teknoloji üreticisinin bir fuardaki standında penaltı atma demosu yer aldı. Yarım ay şeklindeki stantta 36 adet yüksek çözünürlük kamera bulunuyordu. Görüntü tanıma teknolojili yazılımlarla donatılmış kameralar 5G bağlantısıyla internete bağlandı. Ekrandaki sanal kaleye doğru sanal topla çekilen şutlar, anında algılanarak 5G bağlantısıyla internete aktarıldı.

Şutun yönü, şiddeti analiz edildi ve ekrandaki sanal top harekete geçti. Bu verilerle, topun yönü belirlendi ve sanal kaledeki kaleci de hamlesini yaptı. Bu demo, 5G’nin hızını başarıyla anlattı.

1.2.6.17.7 5G’li Otomobil-Otonom Araçlar

INTEL ve Japon operatör Docomo, dünyanın ilk 5G bağlantısına sahip olan otomobilini gösterdi. Özel bir donanıma sahip olan aracın üzerindeki anten demo alanındaki 5G baz istasyonuna bağlanarak tüm içerikleri bu teknolojiyle sağladı. 1 GB’lık bir filmi 1 saniye gibi kısa bir sürede indirebilen otomobil, otonom sürüş için de avantaj sunuyor. Verilerle, otomobilin ileride karşılaşacağı durumlar analiz edilerek önlemler alınıyor.

1.2.6.17.8 İnsansız Kepçe Kontrolü

5G fuar alanına kepçelerin olduğu bir şantiye alanı kuran bir telekomünikasyon şirketi, 5G ile uzaktan erişim demosu gerçekleştirdi. 5G ile internete bağlanan kepçede 4K çözünürlüklü bir canlı yayın kamerası vardı ve bu kamera üzerinden görüntüler kilometrelerce uzaktaki kontrol merkezine aktarılıyordu. Böylece bu merkezdeki operatörler, ellerindeki kumandayla kepçeyi 5G teknolojisi üzerinden kontrol edebiliyordu. Bu uygulama yeni teknolojinin, askeri projelerde de uygulamaları olabileceğinin bir kanıtı niteliğinde olmuştur.

Bu uygulamalar dışında 5G ile birbirine bağlantılı olacak sistemlerden bazılar aşağıdaki gibi olacaktır:

- Trafik ışıkları
- Akıllı ev aletleri
- Medikal cihazlar
- Robotlar ve çok daha fazlası
- Akıllı şehrin sensör sistemleri
- Endüstriyel otomasyon sistemleri
- Kişisel drone'lar,

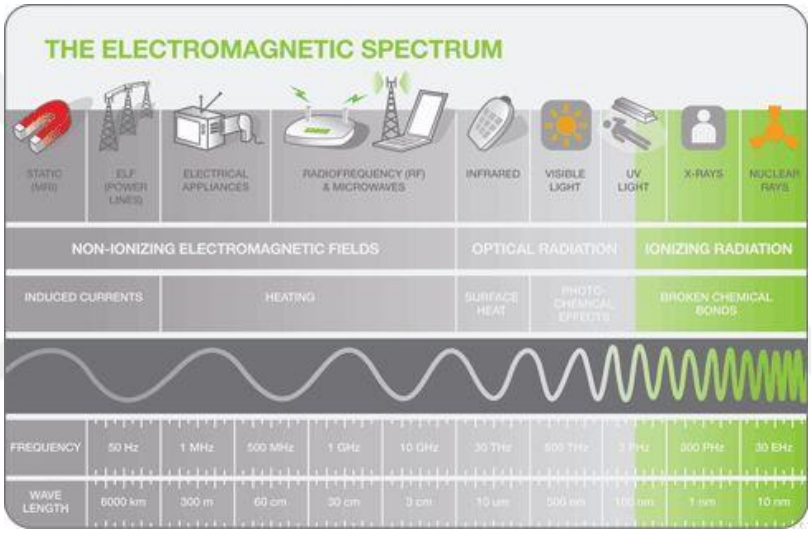
1.2.6.18 Ülkemizde 5G ve Sağlık Tartışmaları

İnsanoğlunun gün geçtikçe artan ihtiyaçları, teknolojideki yenilikleri de kaçınılmaz kılmaktadır. 5G'nin getireceği hız, kapasite ve kolaylık herkesin merakla beklediği konular olmasına rağmen dünyadaki teknolojik gelişmeler, tek bir sonuç yaratmaz ve tüm bu yeniliklerinin yanı sıra, peşinde getirdiği riskler ile de insanları ikiye ayırmaktadır. Örneğin Ülkemizde, BTK (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu) ve Mobil İşletmeci firmaların iş birliği ile çok önceden bu teknolojiye hazırlanmaya başlamış ve hala günümüz itibarı ile çalışmalarına hızla devam etmektedir. Diğer taraftan 5G'nin hayata geçmesi ile kapsama alanının genişleyebilmesi için mobil iletişim sisteöleri olan baz istasyonlarının çok daha sık aralıklatrla kurulması önem arzetmektedir. En küçük cihaza bile ulaşacak olan 5G için kurulacak baz istasyonlarının, ileriki bölümlerde açıklayacağımız iyonize–ışıma oluşturacak ve çoğunlukla diğer teknolojilerle birlikte (2G-3G ve 4.5G) aynı istasyonlarda sistemler devreye alınırken, yeni kurulacak smallcell diye adlandırılan küçük hücreli ve düşük güçlü istasyonlarlada sadece 5G olarakta kurulabilecektir. Dolayısı ile 5G'ye geçen ülkelerin bazılarında ortaya çıkan bazı 5G ve yayılan iyonize ışıma (iyonize radyasyonun) sağlığı ve virüsler dahil birçok etkiyi tetiklediğine ilişkin senaryo ve tezler İleri sürülmüştür. Buna ilişkin çalışmalarda özellikle Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gözetiminde takip edilmekte olup; biz bu çalışma sonunda baştada belirtildiği üzere ülkemizde halen BTK tarafından verilen geçici test izinleri ile sınırlı yerlerde kurulan 5G istasyonlarındaki Elektrik/Elektromanyetik Alan (EMF) değerlerini diğer teknolojilerle ve ayrı olarak ölçerek belirlenen standart değerleri nasıl etkilediğini gözlemleyerek, eldeki örneklerle bu limit değerlerin değişkenliğini ve 5G'nin olası elektrik alan değerini görmeyi hedefliyoruz.

2. MOBİL İLETİŞİM VE ELEKTROMANYETİK ALAN (EMF)

Elektromanyetik alanların kısaltması EMF olarak belirtilmekte olup, elektromanyetik radyasyon (ışıma) (EMR) veya elektromanyetik enerji (EME) olarakta ifade edilebilmektedir. Elektromanyetik alanlar, doğal veya yapay kaynaklarla çevremizde her yerde görülebilir. Dünya, güneş ve iyonosfer EMF'nin doğal kaynaklarıdır. Mobil iletişim ile de sistemlerden oluşan güç ile antenler üzerinden elektrik ve elektromanyetik alan oluşumu söz konusunudur. Bu bölümde genel olarak elektrik ve elektromanyetik alan ve mobil iletişim teknolojileri kullanımından oluşan etki, ölçüm yöntemleri, düzenlemeler hakkında bilgiler verilecektir.

2.1 Elektromanyetik Alan (Electromagnetic Field, EMF) Oluşumu



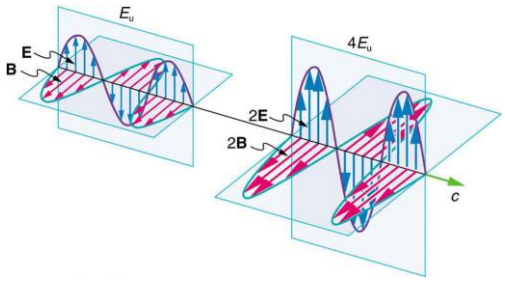
Şekil 2.1 Elektromanyetik Spektrum [55]

Elektrik alan, bir elektrik yükünün başka bir elektrik yükü üzerinde yarattığı çekme veya itme kuvveti etkisini ifade eder. Elektrik yüklerinin varlığı elektrik alanını meydana getirir. Elektrik alan şiddetinin birimi metre başına volttur(V/m). Elektrik alan şiddeti kaynaktan mesafeyle ters orantılı hızlı bir azalma gösterir. Bunun yanında bir diğer özellik ise yalıtkan nitelikli küçük bir engelin bile elektrik alanını engelliyor olmasıdır.

Manyetik alan, elektrik yükleri yer değiştirdiğinde, yani bir elektrik akımı hareketi olduğunda ortaya çıkar. Bir lambanın yanması ele alınırsa, elektrik alanla birlikte aynı zamanda akımın kablodan lambaya akışıyla oluşan bir manyetik alan da mevcuttur. Manyetik alanda, manyetik akı yoğunluğu birimi tesla (T) uluslararası birimdir. Akımın yüksekliği, manyetik alanın da o kadar yüksek olması sonucunu doğurur. Elektrik alanı

mesafeyle olan ilişkisi gibi, manyetik alan şiddeti de mesafe ile hızla azalır. Ancak engeller söz konusu olduğunda manyetik alan, elektrik alandakinden farklı olarak nesnelerce neredeyse hiç engellenmez.

Elektromanyetik alanlar (EMF), bu iki alanın bir araya gelmesiyle oluşur. Burada, elektrik dalgası ve manyetik dalga ışık hızında birlikte yer değiştirirler (Şekil 2.2). Elektromanyetik alanların belirgin özelliği frekansları ve dalga boylarıdır [39].



Şekil 2.2 Elektromanyetik Dalgalar [55]

Elektromanyetik dalgaları tanımlayan bir diğer özellikleri de enerjileridir (Şekil 2.2). Bu üç özellik birbirine bağlıdır. Elektromanyetik spektrum elektromanyetik dalgalar hakkında bütün bu özellikleri birleştiren bir araçtır.

Sadece spektruma bakılarak dalgaboyu frekans arasındaki ters orantı görülebilmektedir. Enerji frekans ilişkisinin doğruluğu da yine spektrumdan okunabilir.

Mobil iletişimin kaynağı olan radyo dalgaları 3kHz' den 300GHz' e kadar olan bölgeyi kapsayarak spektrumun en geniş bölgesini oluşturmaktadır. Dalgaboyları milimetreden 100 kilometreye varan uzunluklarda değişir. Spektrum boyunca uzanan bu kaynak kendine insan hayatında birçok uygulamada yer bulmuştur.

2.2 Gündelik Yaşamdaki Elektromanyetik Alan Kaynakları

Elektromanyetik alanlar; evimiz, okulumuz ve işyerimiz başta olmak üzere çevremizde her yerde mevcuttur. Elektromanyetik alanlar, doğal yollardan meydana gelen veya insanlar tarafından meydana getirilen kaynaklar tarafından oluşturulur.

Doğal elektrik ve manyetik alanlar arasında aşağıda belirtilenler bulunmaktadır

- Dünya'nın Manyetik Alanı (bu, pusulaların kuzeyi göstermesini sağlar)
- Yıldırım (yıldırımlar EMF üretir)
- Görünür ışık (optik radyasyon kullanarak görebiliriz)

İnsanlar tarafından meydana getirilen elektromanyetik alanlar arasında ise aşağıda belirtilenler bulunmaktadır

- Elektrikli Aygıtlar (Şekil 2.3)
  - süpürgeler
  - saç kurutma makineleri

  - Mikrodalga fırınlar
  - buzdolapları

- Telsiz İletişim Cihazları
  - AM / FM radyo ve televizyon
  - acil durum telsizi (polis, itfaiye, ambulans)
  - hava trafik kontrolü
  - telsiz telefonlar
  - uzaktan kumandalar
  - cep telefonları
  - Wi-Fi modemler

2.3. RF ve EMF

Radyo frekans dalgalarının EMF özelliklerini incelerken ele alınacak öncelikli kavram radyasyondur. Radyasyon kelimesi ışımayı ifade ettiği halde sadece özellikle tehlikeli tipi olan iyonlaştırıcı radyasyonu çağrıştırmaktadır (Şekil 2.3).

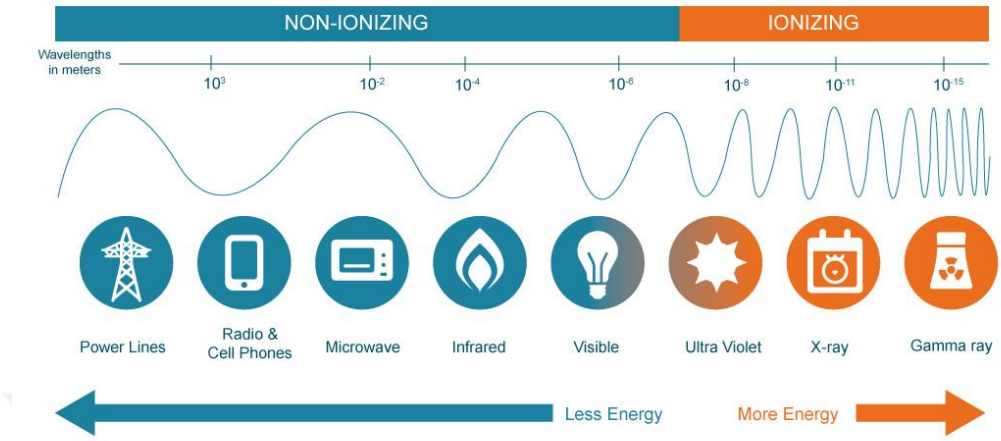
2.3.1 İyonlaştırıcı radyasyon (ışıma);

Bazı elektromanyetik dalgalar, atomu parçalayacak şekilde maddeyi partiküller halinde iyonlaştırabilen ve sonunda moleküller arasındaki kimyasal bağları kopartabilen yüksek miktarlarda enerji taşır. Dolayısı ile atomdan elektron koparacak enerjiye sahiptir ve bu şekilde atomun yapısını bozma özelliği gösterir. [55]

2.3.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon (ışıma);

Moleküller bağlara ayrılamayan yani atomu parçalayamayan elektromanyetik alanlar, iyonize olmayan radyasyon olarak adlandırılmaktadır. Gündelik hayatımızda etrafımızda bulunan birçok yapay elektromanyetik alan kaynağı (radyo sinyalleri dahil) bulunmakta olup, iyonize ışıma değildir. Atomdan elektron koparacak düzeyde bir

enerji yaymadığı gibi atom yapısında bir değişikliğe de sebep olmaz. X, gamma, alfa, beta ışınları iyonlaştırıcı radyasyon (ışıma) özelliği taşırken, görünür bölge ışınları, infrared, mikrodalga ve radyo dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyon (ışıma) özelliğindedirler. [55]



Şekil 2.3 İyonlaştırıcı Radyasyon ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun EM Spektrumundaki Konumu [56]

2.3.3 Elektromanyetik Alanlara Yönelik Güvenlik.

Gündelik yaşamda tüm canlılar geçmişten bugüne sürekli elektromanyetik alanlara maruz kalmaktadırlar. İnsanlar, yaşamları boyunca farkında veya farkında olmadan doğal EMF'ye maruz kalmaktadırlar. İnsanlar tarafından meydana getirilen doğal olmayan elektromanyetik alanlar, teknoloji ve telsiz iletişimlerinin gelişimiyle birlikte son yüzyılda önemli bir artış göstermiştir.

Uzun yıllardır süregelen bilimsel araştırmalar, ulusal ve uluslararası sağlık kurumlarının elektromanyetik alanlara maruz kalmaya yönelik güvenlik sınırlarını oluşturmalarını sağlamıştır. Maruz kalma sınırları, EMF çeşidine göre farklılık göstermekte olup, elektrik alan kaynağı, dala boyu, güç ve mesafeye bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup; ek koruma için geniş güvenlik marjları içermektedir. [55]

2.3.4 Radyo Dalgaları Güvenliği.

Radyo dalgaları, yukarıda bahsetmiş olduğumuz iyonize olmayan elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır. Cep telefonları, baz istasyonları ve diğer telsiz hizmetlerinin

sağlık üzerindeki olası etkilerine yönelik 50 yıldan fazla süredir bilimsel araştırmalar yapılmakta ve devam etmektedir.

Bu araştırmadan elde edilen veriler, pek çok uzmanın yer aldığı enstütüler, standart belirleyiciler ve inceleme grubu tarafından analiz edilmektedir. Elde edilen kanıtların incelenmesinin sonucunda, uzmanları Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) tarafından belirlenen yönergelerin altındaki maruz kalma hallerinin yetişkinler veya çocuklar için herhangi bir sağlık riski taşıdığına ikna etme yönünde bir kanıt bulunamamıştır.

EMF ve sağlıkla ilgili olarak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) söylemi şu şekildedir;

"Baz istasyonları ve cep telefonları başta olmak üzere frekans spektrumunun birçok parçasına maruz kalmanın olası sağlık etkileri üzerine kapsamlı bir araştırma yürütülmüştür. Şimdiye dek yapılmış olan tüm incelemeler, 0-300 GHz'lik frekans menzilini tam olarak kapsayan ICNIRP (1998) EMF yönergelerinde tavsiye edilen limitlerin altındaki maruz kalma durumunda herhangi bir bilinen ters etki yaratmadığını göstermektedir. Ancak, daha iyi sağlık değerlendirmeleri yapılmadan önce, hala doldurulması gereken bilgi boşlukları kapsamında çalışmalar devem etmektedir " [55]

2.3.5 SAR (Spesific Absorb Rate)

EM radyasyon etkileri incelendiğinde üzerinde durulacak önemli bir ölçüm değeri spesifik absorpsiyon (Özgül Soğurma) oranıdır (spesific absorption rate,SAR). Mobil cihaz kullanımında vücudun soğurduğu ışıma miktarının (SAR değerinin) watt/kg cinsinden karşılığıdır. 1°C vücut sıcaklığı değişimi için 4 watt/kg radyasyon soğurulmuş olması gerekir. Kafa için belirlenmiş sınır değer ise 2 watt/kg' dır.

2.4. EMF Standartları

Teknolojinin hayatımızdaki yeri gün geçtikçe artıyor. Bu yükselen kullanım trendi EMF' in insan sağlığı üzerindeki etkilerine belli standartların getirilmesi gerekliliğini doğurmuştur.

EMF maruziyeti, güç yoğunluğu ve mesafe yanında; maruziyet süresi, tipi (yakın veya uzak alan), kaynağın frekansı, elektrik ve manyetik alan büyüklüğü ile modülasyon (sürekli dalga veya darbe modülasyonu) gibi fiziksel özelliklere göre belirlenmektedir.

Biyolojik sistemlerdeki maksimum RF enerji iletişimi; biyolojik dokulardaki nüfuz (penetrasyon) ve dağılımı, enerji emilimi, güç depolanması, oluşan elektrik ve manyetik alan tarafından belirlenebilir. Isı etkisi; yerel, kısmi veya tüm vücut maruziyetinden kaynaklanan biyolojik sistemlerdeki emilim veya RF enerji depolanması yoluyla olur.

EMA"ın canlılara etkilerinden biri olan ısıl veya ısı etkisi bu yolla meydana gelir. Enerjisini hücreye aktaran foton geliş istikametine doğru içindeki suyu harekete geçirir. Frekansa göre değişik sayıda mesela 1 saniyede; 10 Hz"de 10 defa, 500 MHz de 500 milyon defa suyu iter. Suyun hareketinden dolayı oluşan sürtünme, ısı enerjisine dönüşür ve hücrede ısı artışı olur. Dünya'da en fazla uygulanan standart olan ICNIRP (Uluslararası İyonize Olmayan Işımadan Korunma Komitesi) limitleri daha çok Avrupa ülkelerinde uygulanan standarttır. ICNIRP'nin tek kaynak ve ortam yoğunluğu için belirlemiş olduğu elektrik alan şiddeti limit değeri 41.25 V/m' dir [40].

2.5. Türkiye'deki Düzenleme ve Uygulama

Türkiye'de bu konudaki standartlar düzenleyici otorite olan Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafınca belirlenmektedir. Türkye'de uygulanan limit değerler belirlenirken ihtiyatlılık çerçevesinde ICNIRP limit ve kriterleri referans alınarak oluşturulmuştur. Bu yetkiyle Türkiye'de 5809 sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu uyarınca baz istasyonlarının kuruluşunda uyulması gereken kriterlerle ilgili düzenleme yapma yetkisini BTK'ya vermiştir.

Baz istasyonları, "Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmelik" hükümlerine uygun olarak kurulmakta ve işletilmektedir. Şekil 2.4'de gösterilen Güvenlik Sertifikası bir baz istasyonunun, faaliyet gösterdiği yerde BTK tarafından çıkartılan Yönetmelik hükümlerine göre kurulduğu, çalıştığı ve işletildiğinin belgesidir [41].

Baz istasyonları; alıcı, verici ve güç sistemlerinden oluşan kabin ile sinyalleri yaymak için kule, direk, çatı, bina, vb. yerlere kurulan anten system birimlerinden oluşan sistemlerdir. Cep telefonları ve baz istasyonları iletişim sağlamak amacıyla kurulmakta olup, bu istasyonların kapsama alanında olmayan yerlerde mobil iletişim kurmak mümkün değildir.

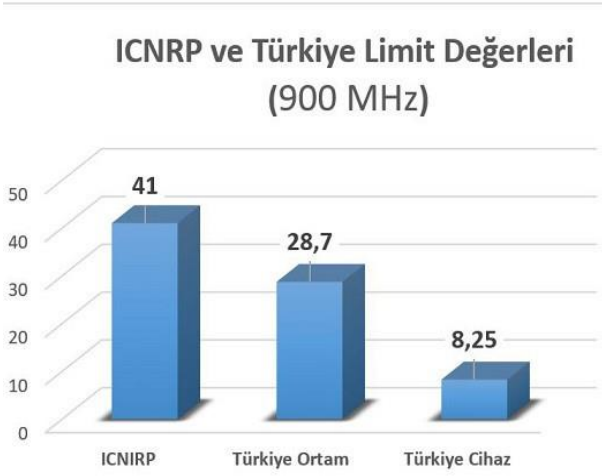


Şekil 2.4 Güvenlik Sertifikası ve Saha Örnekleri [41]

Baz istasyonlarının insan ve çevre sağlığına etkileri konusunda Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) çalışmaları başta olmak üzere ICNIRP çalışmalarıda BTK tarafından takip edimektedir. Bu kuruluşların çalışmaları ve dünya üzerindeki en iyi uygulamalar göz önünde bulundurularak ülkemizde kurulan baz istasyonlarının Elektromanyetik Alan Şiddeti değerlerinin üst sınırı BTK tarafından belirlenmekte olup; baz istasyonlarının limit değerlere uygun kurulup kurulmadığının denetimi de yine BTK tarafından gerçekleştirilmektedir

Ülkemizde, ICNIRP tarafından belirlenen limit değerlerin ortam için %70'ine cihaz başına %20'sine tekabül etmektedir ve hali hazırda Güvenli bölgede kalmak adına bu standartlar ülkemizde 900MHz için tek kaynak için 8.25 V/m ve ortam yoğunluğu için 28.87 V/m olarak düzenlenmişti [41]. Tablo 2.1'de Türkiye'deki uygulama ile bazı diğer ülkelerde kullanılan elektrik alan limit değerleride belirtilmiştir.

Tablo 2.1 Limit Değer Karşılaştırması



	900MHz için E-alan şiddeti (V/m) (Cihaz/Ortam) Hedef Değerler
ICNIRP	**41,25**
ABD	47,6
Japonya	47,55
Almanya	41,25
Birleşik Krallık	41,25
Çin	12
İsviçre	4/41,25
Rusya	20
Türkiye	8,25 / 28,88

Tek kaynak ölçümü yalnızca bir hücrenin oluşturacağı değerken ortam yoğunluğu komşu hücrelerden gelen yayılımların dahil değildiği bir değeri ifade etmektedir. Yoğun şebeke (network) yapısı bir noktada sadece bir hücreden servis alınması ihtimalinin olmadığı bir durum yaratmaktadır. Bir UE bulunduğu lokasyonda bir çok sahayı aynı anda ölçmektedir ve sinyal seviyesine göre aralarından en kaliteli servis alacağı saha ile iletişim kurmaktadır. Yapının bu şekilde çalıştığı bir sistemde sahadaki canlı testler söz konusu olduğunda ortam yoğunluğu daha anlamlı bir parameter olmaktadır. Yapılan çalışmada alınan ölçümlerdeki değerler de bu sebeple ortam yoğunluğudur.

2.5.1 Elektrik Alan Şiddeti

BTK tarafından yayınlanmış olan Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği'nde ihtiyatlılık ilkesi çerçevesinde, hücresel sistemlere ortam için izin verilen değer, ICNIRP'nin belirlediği limit değerlerin %70'i hesaplanarak oluşturulan Tablo 2.2 'de yer alan değerleri aşamaz. [42]

Ayrıca, hücresel sistemler için ilave koruma olarak; aynı emisyon noktasında kurulu bulunan her bir cihaz için ICNIRP'nin belirlediği limit değerlerin %20'si hesaplanarak oluşturulan Tablo 2.2'de yer alan değerler aşılamaz.

Tablo 2.2 Ortam ve Tek Cihaz İçin Belirlenen Elektrik Alan Şiddeti Limit Değerleri[42]

Frekans Aralığı (MHz)	**E-alan şiddeti (V/m)**	
	Tek Cihaz Limit Değeri	**Ortam Limit Değeri**
0,010-0,15	19,3	65,25
0,15-1	19,3	65,25
1-10	$19,3/f^{½}$	$65,25/ f^{½}$
10-400	6,2	21
400-789	$0,305f^{½}$	$1,03f^{½}$
790-2000	$0,275f^{½}$	$0,96f^{½}$
2 000-94 000	12,3	42,93

Formül ve uygulama ile frekans bazlı bir limit değer belirleme yaklaşımları:

700 MHz için = 0,305* (700)½ = 8,07 V/m
900 MHz için = 0,275* (900)½ = 8,25 V/m
1800 MHz için = 0,275*(1800)½ = 11,67 V/m
2500 MHz için = 12,3 V/m
3500 MHz için = 12,3 V/m
3700 MHz için = 12,3 V/m
26 GHz için = 12,3 V/m

2.5.2 Güvenlik Mesafesi

Yine aynı yönetmelik kapsamında Güvenlik mesafesinin hesaplanmasını içeren 8. Madde gereği; Elektronik haberleşme cihazları ve Radyo-TV verici cihazları için Güvenlik Mesafesi, antenden itibaren ve antenlerin yayın yönleri, eğimleri ve paternleri dikkate alınarak ikinci fıkrada yer verilen formül ile hesaplanır.

Güvenlik mesafesi; antenden itibaren ve antenlerin yayın yönleri dikkate alınarak Uluslararası Radyasyondan Koruma Kurulu'nca(IRPA) kullanılan aşağıdaki formülle hesaplanır. Bu formülde; $d = \frac{\sqrt{30.P.10^{G/10}}}{E}(metre)$

P: Cihaz çıkış gücünü (Watt), G: Anten kazancını (dBi),

E: Elektrik alan sınır değerini (V/m) (Tablo-1 deki tek bir cihaz için sınır değeri olacaktır)

d: Güvenlik mesafesini (metre), ifade eder [41].

2.6 5G ve Elektromanyetik Alan

Global mobil verilerin ve aynı zamanda mobil cihazların ve bağlantıların sayısının da aynı oranda artması beklenmektedir. Bu talebi karşılamak için yeni teknolojiler gerekmektedir. Açıkça, verimi artırmak için, bant genişliğini veya spektral verimliliği artırabilen bazı yeni teknolojilerden yararlanılmalıdır. Spektral verimi arttırmanın iyi bilinen bir yolu, çoklu antenler kullanmaktır. Özellikle, Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO) antenleriyle iletim, iletişimin güvenilirliğini artırmak için iyi bilinen bir tekniktir. Ayrıca, birden fazla antenle, birden fazla akış gönderilebilir ve bu nedenle, iletişim kapasitesini önemli ölçüde artıran bir çoğullama kazancı elde etmek mümkündür.

Özellikle, 5G NR [43], enerjinin geniş bir sektörde sürekli olarak iletilmesinden ziyade, enerjinin ihtiyaç duyulan yönlerde iletildiği m-MIMO[44] gibi gelişmiş anten teknolojileri ile karakterize edilecektir. Bu yeni yaklaşım, insan maruz kalımına düzenleme çerçevesi için mevcut EMF ölçüm prosedürlerinin revize edilmesini önermiştir, çünkü teorik maksimum güç aktarımına dayanan geleneksel yaklaşım dinamik çalışan bu sistemi incelemek için makul görünmeyebilir [45] ve bu nedenle son zamanlarda 5G frekansları dahil olmak üzere maruz kalma değerlendirme metodolojisindeki gelişmeler [46] öne sürülmüştür [47].

5G teknolojisiyle küçük hücrelerin kullanımı oldukça yoğunlaşacaktır. Bu hücre tipi düşük güçlü ve küçük kapsama alanlı bir yapıdadır. Yakın mesafelerde ve doğrudan insan vücuduna yönlendirildiğinde oluşacak olan maruziyet bu hücre tipinde güç seviyeleri bakımından incelendiğinde, maksimum iletilen gücün mevcut üçüncü ve dördüncü nesil mobil iletişim sistemlerinde kullanılan UE güç seviyelerinin önemli ölçüde altında olduğu bulunmuştur. Daha yüksek çıkış gücü seviyelerine izin verebilecek teknik çözümlere dayanarak olası diğer maruz kalma senaryolarının sonuçları da tartışılmaktadır. Elde edilen sonuçlar gelecekteki mobil iletişim sistemlerinin tasarımı ve 5G cihazlarının ve ekipmanlarının EMF uygunluk değerlendirme prosedürlerinin standardizasyonu için değerli bilgiler oluşturur [48].

Mevcut ikinci, üçüncü ve dördüncü kuşak mobil iletişim sistemlerinin kullandığı frekanslar için, EMF maruz kalımına ilişkin temel kısıtlamalar, aşırı lokalize doku ısınması ve tüm vücut ısısı ile ilişkili olarak ortaya çıkan olumsuz sağlık etkilerinden geniş güvenlik marjları ile belirlenen SAR değerleri ile önlenir [49].

Daha yüksek frekanslarda, insan dokusundaki emilim daha yüzeysel hale gelir ve temel kısıtlamalar SAR' dan gücü yoğunluğuna değişir. Bu değişikliğin gerçekleştiği geçiş frekansı, IEEE, FCC ve ICNIRP pozlama kılavuzları için sırasıyla 3 GHz, 6 GHz ve 10 GHz'dir.

Bir mobil iletişim sistemi tasarlarken göz önünde bulundurulması gereken temel bir özellik, baz istasyonu ve UE tarafından kullanılacak iletim gücüdür. Yakın zamana kadar, 6 GHz'in üzerindeki frekanslar daha az dikkat çekiyordu. Yaklaşan 5G radyo erişim teknolojilerinin standardizasyonu ile, ilgili sistem sınırlarını tanımlamak ve RF EMF maruz kalma değerlendirme yöntemleri geliştirmek için açık bir ihtiyaç olduğu için bu durum değişmeye başladı [50].

SAR'dan güç yoğunluğuna değişen temel kısıtlamanın sebebi, insan vücuduna yakın olarak kullanılan bir cihaz mümkün olan maksimum iletilen güç (P_{max}) açısından araştırıldığında, P_{max} değerinde fiziksel olmayan birkaç dB'lik süreksizliktir [51]. Sonuç olarak, 6 GHz'in üzerindeki frekanslarda geçerli maruz kalma sınırlarıyla uyumlu olması için, P_{max}'ın mevcut hücresel teknolojiler için kullanılan güç seviyelerinin birkaç dB altında olması gerekebilir[51]. Başka bir yayında, aynı mesafede RF'ye maruz kalma nedeniyle cilt sıcaklığındaki artış, izin verilen maksimum güçte bu sınırlara uygun olacak şekilde incelenmiştir [52]. İlgili uluslararası limitler arasında, 6-60 GHz

frekans aralığının termal maruz kalma tehlikelerine karşı en tutarlı koruma seviyesini sağladığı bulunmuştur [51,52].

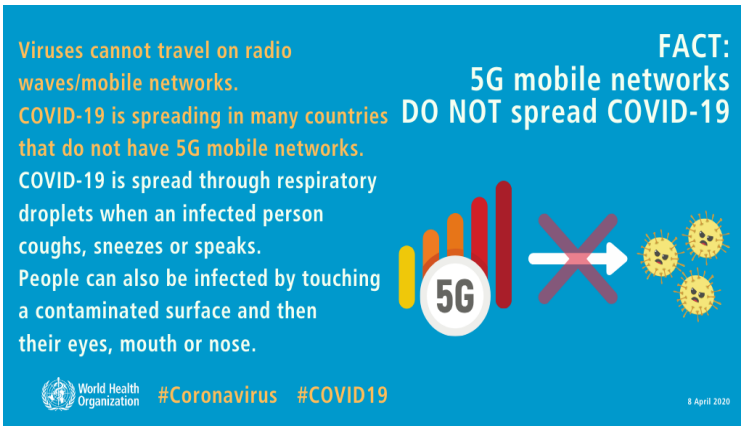
2.6.1 ICNIRP:

Standart belirleyici ototrite olan ICNIRP yaklaşık 5 yılda bir yeni teknoloji ve gelişmelerle yapılan tüm akademik çalışmalarda göz önünde bulundurularak üyezi olan uzmanlar topluluğu ile EMF yani elektromanyetik dalgalarla ilgili kılavızlarını gözden geçirerek yayınlar. ICNIRP'yi referans alan ülkeler ve ayrıca Dünya Sağlık Örgütü'nin de tanıdığı komisyonun son gözden geçirmesi Mart, 2020 yılında tamamlanarak yayınlanmıştır. ICNIRP'nın son çalışma ve gelişmelerle özellikle 5G ile birlikte gerek milimetre dalgaları etkisi gerekse diğer teknolojilerle birlikte 5G sinyallerinin oluşturacağı elektromanyetik alan etkisi ve buna ilişkin uluslararası standartların gözden geçirilmesi hususu için takip edilmekteydi. Mobil cihazlardan ve ağlardan EMF'ye maruz kalmaya karşı koruma sağlayan uluslararası güvenlik yönergelerini güncelledi Revize edilen kılavuz ICNIRP web sitesinde ve Health Physics dergisinde yayınlanmıştır [53].

Kılavuzda 5G'ye ilişkin olarak özetle, ICNIRP 1998 kılavuzlarında birkaç küçük ayar yapmasına rağmen, inceleme, maruz kalma bu kılavuzların altındaysa 5G dahil olmak üzere mobil teknolojiler tarafından kullanılan radyofrekanslardan insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etki olmadığını doğrulamıştır ve daha önce belirlenen EMF limitlerinde bir değişikliğe gerek görmemiştir.

2.6.2 WHO-DSÖ ve COVIT-19/5G Yorumu:

Bunlarla birlikte 2019 yılı sonrında Dünya'da baş göstermeye başlayan ve halen devam eden olan Koronavirüs COVİT-19 pandemisi ile bazı ülkelerde bu virüsün çıkış ve yayılmasına ilişkin olarak 5G'nin etkili olduğu savları ortaya atılmıştır. Bu hususa ilişkin olarak dünya üzerindeki en etkin otorite olan Dünya Sağlık Örgütü Şekil 2.5'da gösterildiği üzere bir açıklama yaparak; virüslerin radyo dalgaları ve mobil ağlarla yayılamayacağını, dolaşamayacağını belirterek; COVID-19'un 5G mobil ağları olmayan birçok ülkede yayıldığını belirtmiştir. Ayrıca COVİT-19'un enfekte bir kişi öksürdüğünde veya konuştuğunda rispiratuvar damlacıklar yoluyla yayıldığını, insanların ayrıca kontamine bir yüzeye dokunarak ve gözlerinden, ağızlarından veya burundan enfekte olabileceklerini belirtmiştir [54].



Şekil 2.5 Dünya Sağlık Örgütü Web Sitesi Açıklama Görseli [54]



Şekil 2.6 DSÖ Cenevre'deki Merkez Binası

3. MATERYAL ve ÖLÇÜM YÖNTEMi

Bu bölümde EMF ölçümlerinde kullanılan materyal ve cihazlar, ölçüm yöntemleri, bu tez kapsamında yapılmış olan ölçüm yerleri ile ölçümlerin sonuç ve analizlerine yer verilmiştir.

3.1 Materyal ve Ölçüm Cihazı

5G EMF değerlerini ölçülecek olan bu çalışmada ölçüm aracı olarak Narda RF test ve ölçüm cihazı (Şekil 3.1) kullanılmıştır. Bu konuda ölçüm yapılacak cihazlar, özellikleri ile ölçüm metodolojiside yine ülkemizde BTK tarafından yayınlanan Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği ile belirlenmiştir [42]. Ölçümlerde kullanılmış olan cihaz Narda NBM-550 modelidir.

Elektrik Alan probu EF0391 (NBM) olup; 100KHz – 3GHz bant aralığını ölçümleyebilme kabiliyetine sahiptir. Diğer yandan Manyetik Alan probu HF 0191 (NBM) olup; 27MHz – 1GHz bant aralığını ölçümleyebilmektedir.



Şekil 3.1 Kullanılan EMR ölçüm cihazı

3.2 Ölçüm Yöntemleri

BTK tarafından aynı yönetmelikle belirlenen ölçüm yöntemleri şu şekildedir [42].

(1) Yapılacak olan ölçümler; temel olarak elektromanyetik alan şiddeti veya güç akı yoğunluğu ölçümlerinden ibaret olup;

a) Ölçümler geniş bantlı cihaz ile yapıldığında, yakın alanda elektrik alan ve manyetik alan karmaşık bir yapı gösterdiğinden, elektrik alan ve/veya manyetik alan probları ayrı ayrı kullanılarak ölçüm yapılır. Uzak alanda ise ölçümler sadece elektrik alan probu kullanılarak yapılır.

b) Bir noktada birden fazla verici bulunması halinde, geniş bantta ölçüm yapan bir cihaz ile ortamda bulunan bütün elektrik alan şiddetinin etkin değeri ölçülecektir. Elektromanyetik alan şiddetinin tek bir cihaz için belirlenen limitten fazla çıkması durumunda ortamdaki bütün vericilerin ayrı ayrı elektrik alan şiddetinin tespiti için, spektrum analizör ve yönlü anten kullanılır. Elektrik alan şiddet değerinin düşey ve yatay polarizasyon değerlerinin x, y, z bileşenleri ayrı ayrı ölçülür, bunların karelerinin toplamının karekökleri alınarak hesaplanan etkin bileşke elektrik alan değeri, $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$ formülü ile hesaplanır.

(2) Bu ölçümde aşağıdaki hususlar dikkate alınır.

a) Ölçüm personeli üzerinde bulundurduğu her türlü elektronik cihazı ölçüm sonuçlarını etkilememesi bakımından kapalı tutar.

b) Cihazın ilk çalıştırılmasından sonra teknik dokümanında belirtilen süre kadar cihaz kararlı duruma geçene kadar beklenir.

c) Her ölçüme başlamadan evvel ölçüm cihazlarının varsa sıfırlama tuşuna basılır.

ç) Ölçümler, ölçüm yapılacak sistemin çalışır durumda olduğu saatlerde yapılır.

d) Ölçümler, verici antenin yayın paterni dikkate alınarak yapılır.

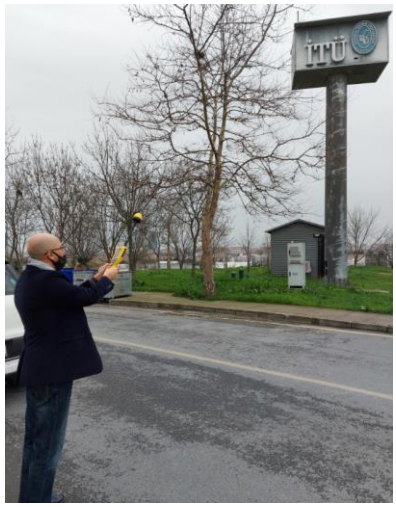
(3) **(Değişik:RG-17/4/2018-30394)** Hücresel baz istasyonları ölçümleri için bu maddede açıklanan ölçüm yöntemlerine ek olarak aşağıdaki hususlara da dikkat edilir.

a) Ölçümler; ölçülecek elektronik haberleşme cihazının anten yayın paterni dikkate alınarak antenin baktığı yönde, güvenlik mesafesinin dışında erişilebilen/ulaşılabilen en yakın yerde üç noktadan yapılır.

b) Ölçümlerin asgari süresi anten/sektör başına en az 1 dakikadır.

c) Ölçümlerde ölçüm cihazının anten/probu yerden en az 1,5 metre yükseklikte bulunmalıdır.

ç) Bina içi sistemlerde sadece değişiklik yapılan antenler ve yeni kurulan antenler için ölçüm yapılır.

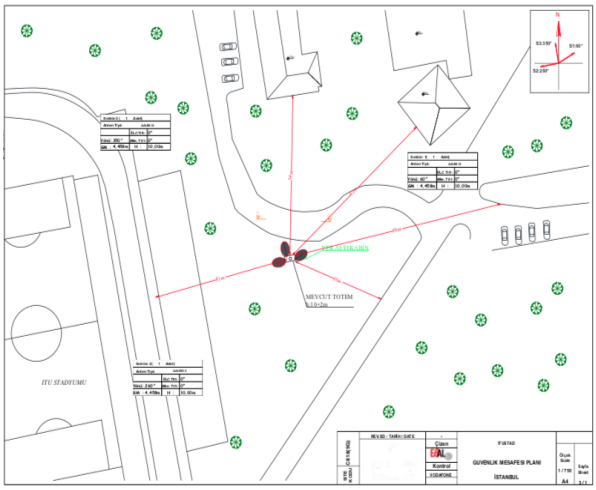
Şekil 3.2 5G sahalarında yapılan ölçümler

3.3 Ölçüm Gerçekleştirilen Alanlar

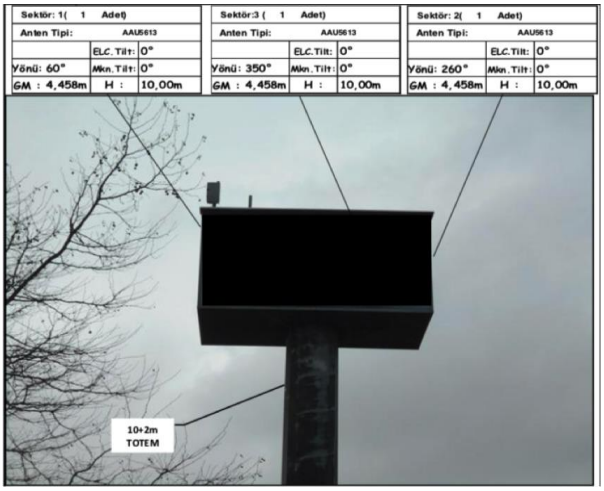
Ölçümler için Ülkemizde resmi olarak 5G lisans ihalesi yapılmadığından, BTK tarafından İşletmecilere verilen geçici 5G deneme izinleri kapsamında kurulup test çalışması yapılan saha/istasyonlarda ölçümler alınmıştır.

- Bunlardan ilki Maslak'ta bulunan 5G test sahasında gerçekleştirilmiş olup 2G, 3G, 4G ve 5G frekanslarına ait elektrik alan ve manyetik alan değerleri ayrı ayrı ve farklı mesafelerde ölçülmüştür.
- İkinci olarak Ataşehir'de bir indoor/ yani iç alan kapsaması olan bir saha/istasyon üzerinde indoor sistem ve antenler üzerinde ölçüm yapılarak değerler alınmıştır.
- Üçüncü olarak yine indoor sistemde yeni İstanbul Havalimanı deneme testi yapılan saha/istasyon üzerinde ölçümler yapılmıştır.

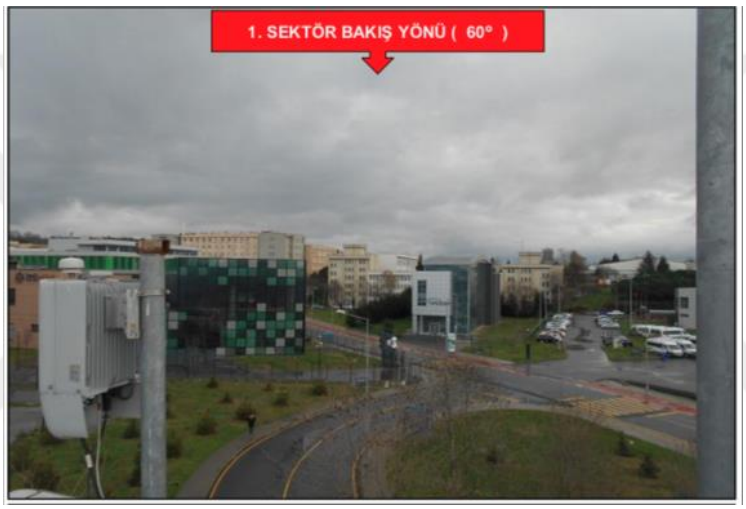
3.3.1 Maslak 5G Test Sahası: Gerçekleştirmiş olduğum 2G, 3G, 4G ve 5G frekanslarına ait elektrik alan ve manyetik alan değerleri ayrı ayrı ve farklı mesafelerde ölçülmüştük. Saha 10m pole üzeride tüm teknolojilerin hizmet verdiği 3 sektörlü bir saha/istasyondur. RF ekipmanları pole altında toprağa gömülü olup, antenler Şekil 3.3.2'deki kamuflajlı prizmanın içerisindedir. Anten bakış yönleri ile sah krokiside 3.3.1-3.3.3 – 3.3.4 ve 3.3.5'te paylaşılmıştır.



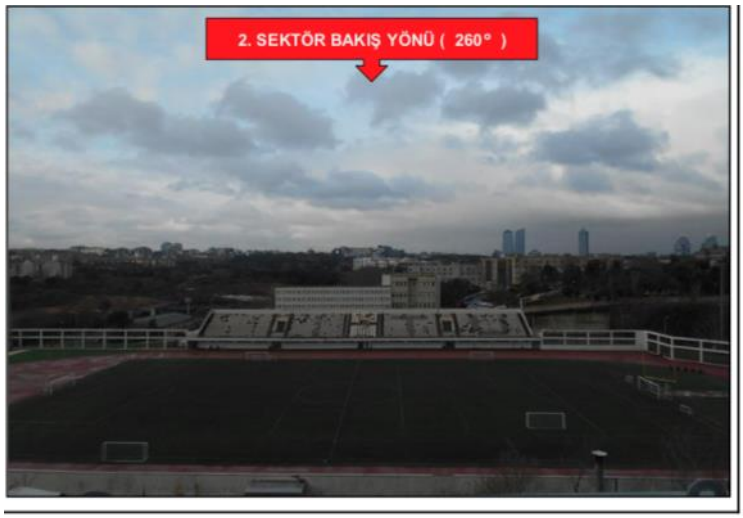
Şekil 3.3.1.1 Güvenlik Mesafesi Planı



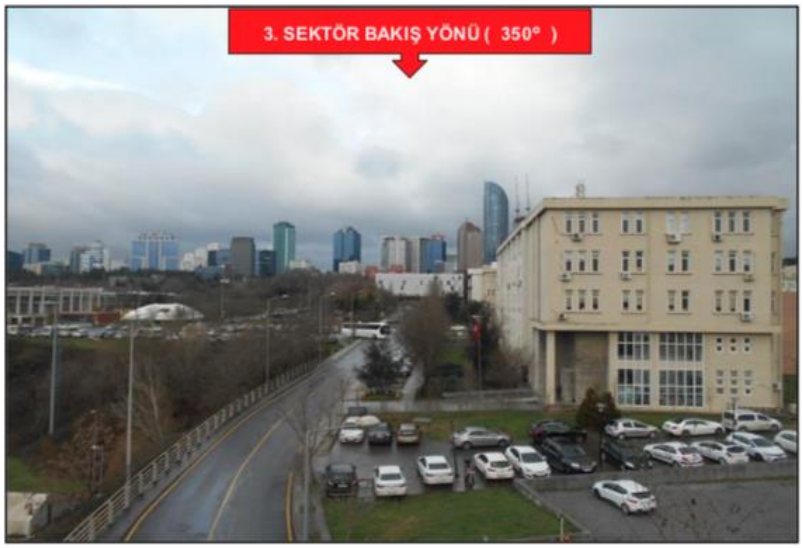
Şekil 3.3.1.2 Sahanın Görüntüsü ve Özellikleri



Şekil 3.3.1.3 Sahanın 1. Sektörünün Bakış Yönü



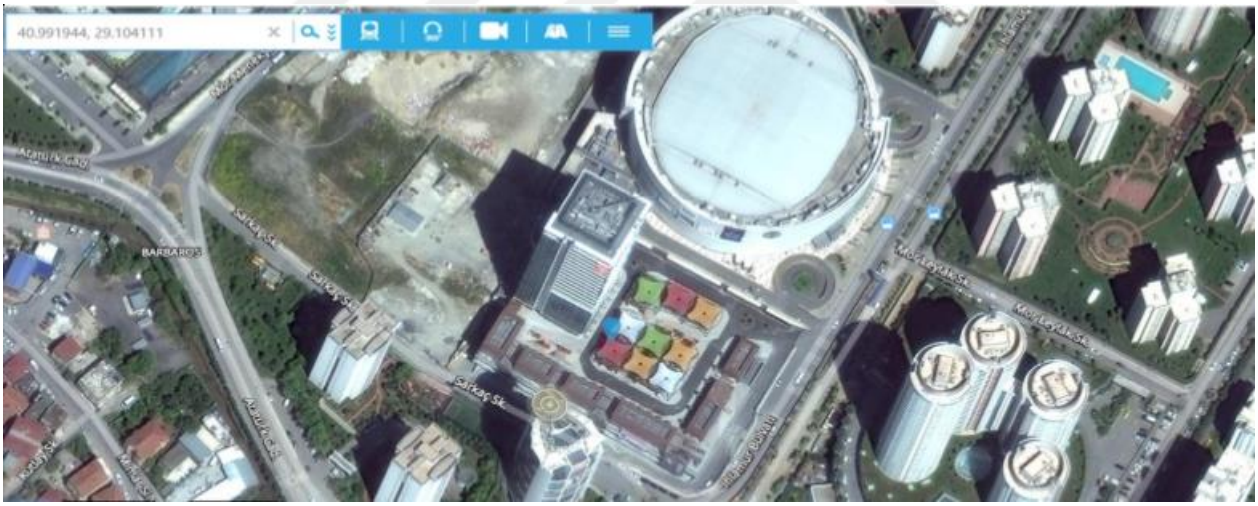
Şekil 3.3.1.4 Sahanın 2. Sektörünün Bakış Yönü



Şekil 3.3.1.5 Sahanın 3.Sektörünün Bakış Yönü

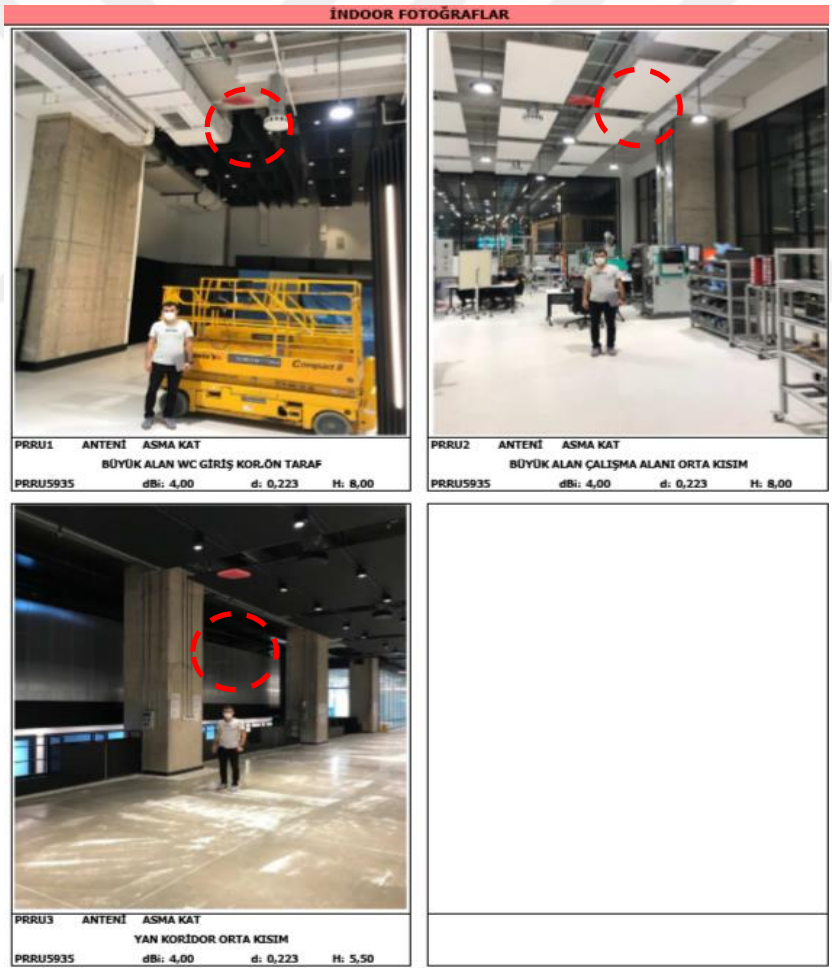
Bilgileri yukarıdaki gibi olan sahanın üç sektöründe de farklı mesafelerden ölçümler alınmıştır. Ölçülen değerler ortamda aktif başka sahaların da var oluşundan ötürü ortam yoğunluğu değerleri olup bu çerçevede incelenecektir.

3.3.2 Ataşehir İş Merkezi Indoor 5G Test Sahası: Fotoğraflar, kroki ve ölçüm yapılacak antenlerin yerlerini içermektedir.

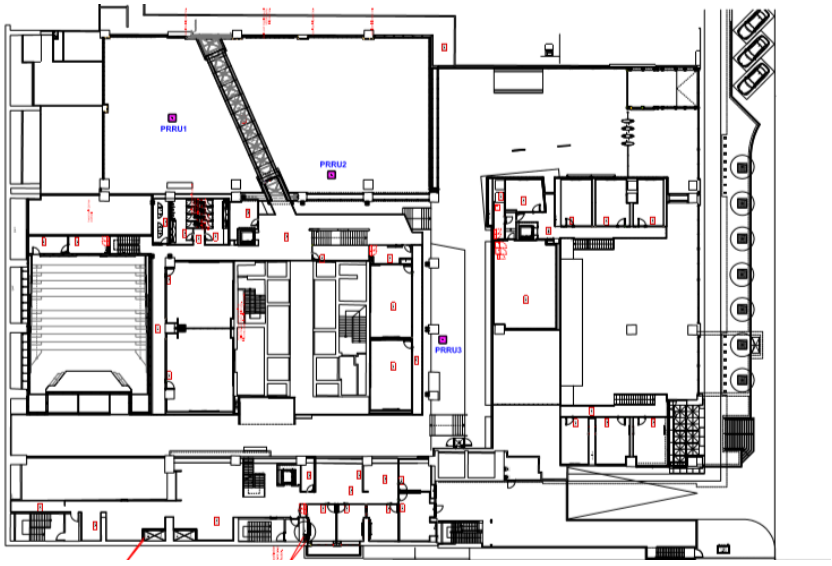




Şekil 3.3.2.1 Ataşehir 5G Indoor Saha Görüntüsü



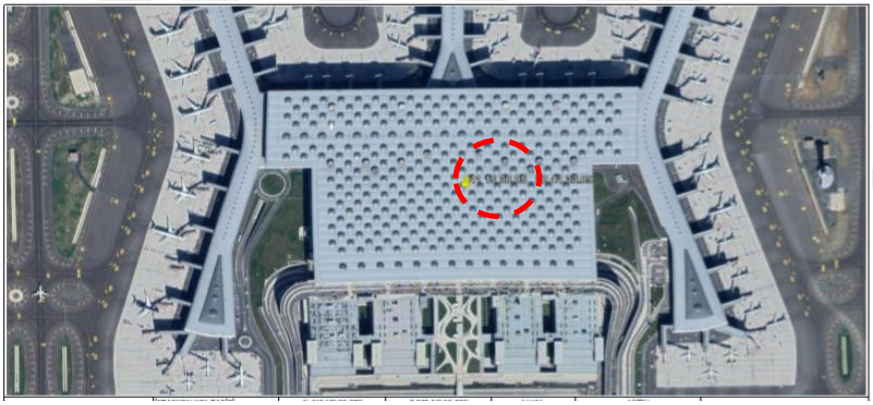
Şekil 3.3.2.2 Ataşehir 5G Anten Yerleri



Şekil 3.3.2.3 Ataşehir 5G saha kroki

3.3.3 Yeni İstanbul Havalimanı 5G Test Sahası: Fotoğraflar, kroki ve ölçüm yapılacak antenlerin yerleri aşağıdaki şekillerde belirtilmektedir.

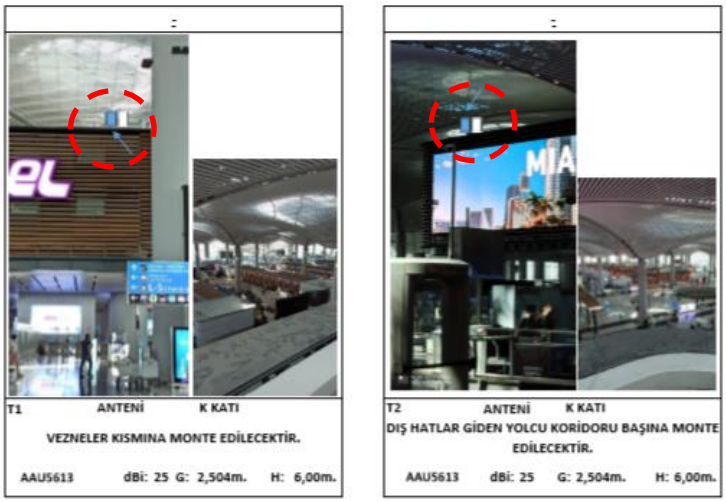
Genel görünüm:





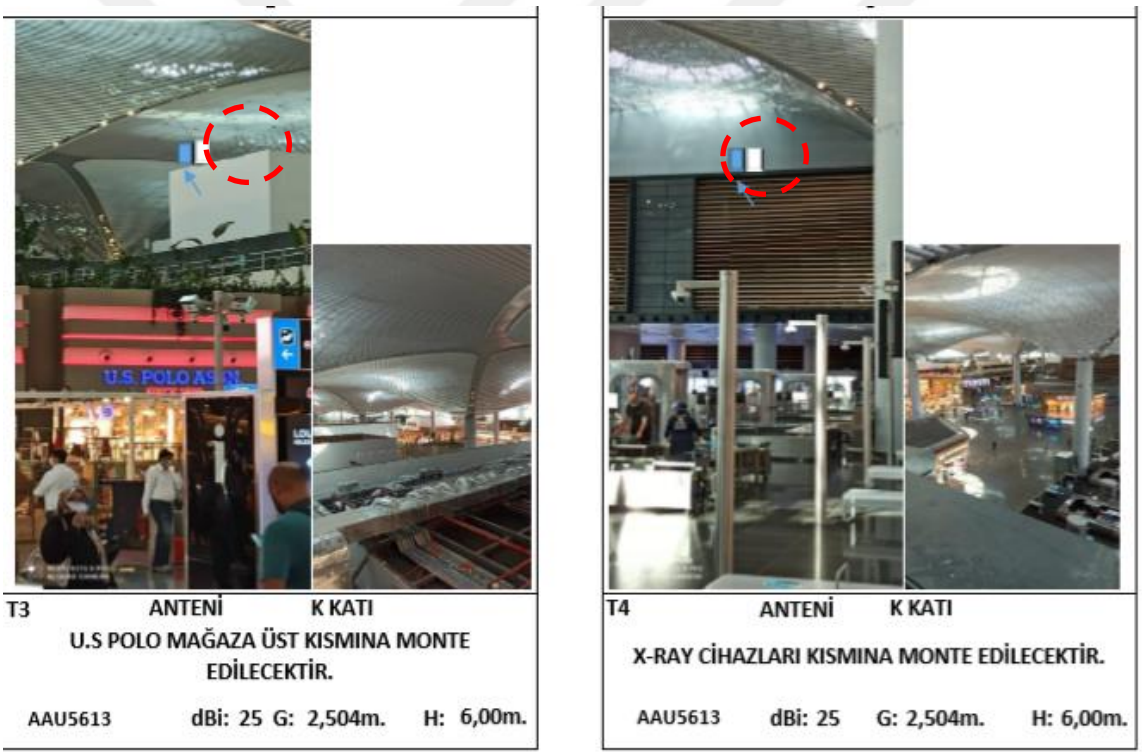
Şekil 3.3.3.1 Havalimanı 5G Saha Genel Görünüm

1. Saha



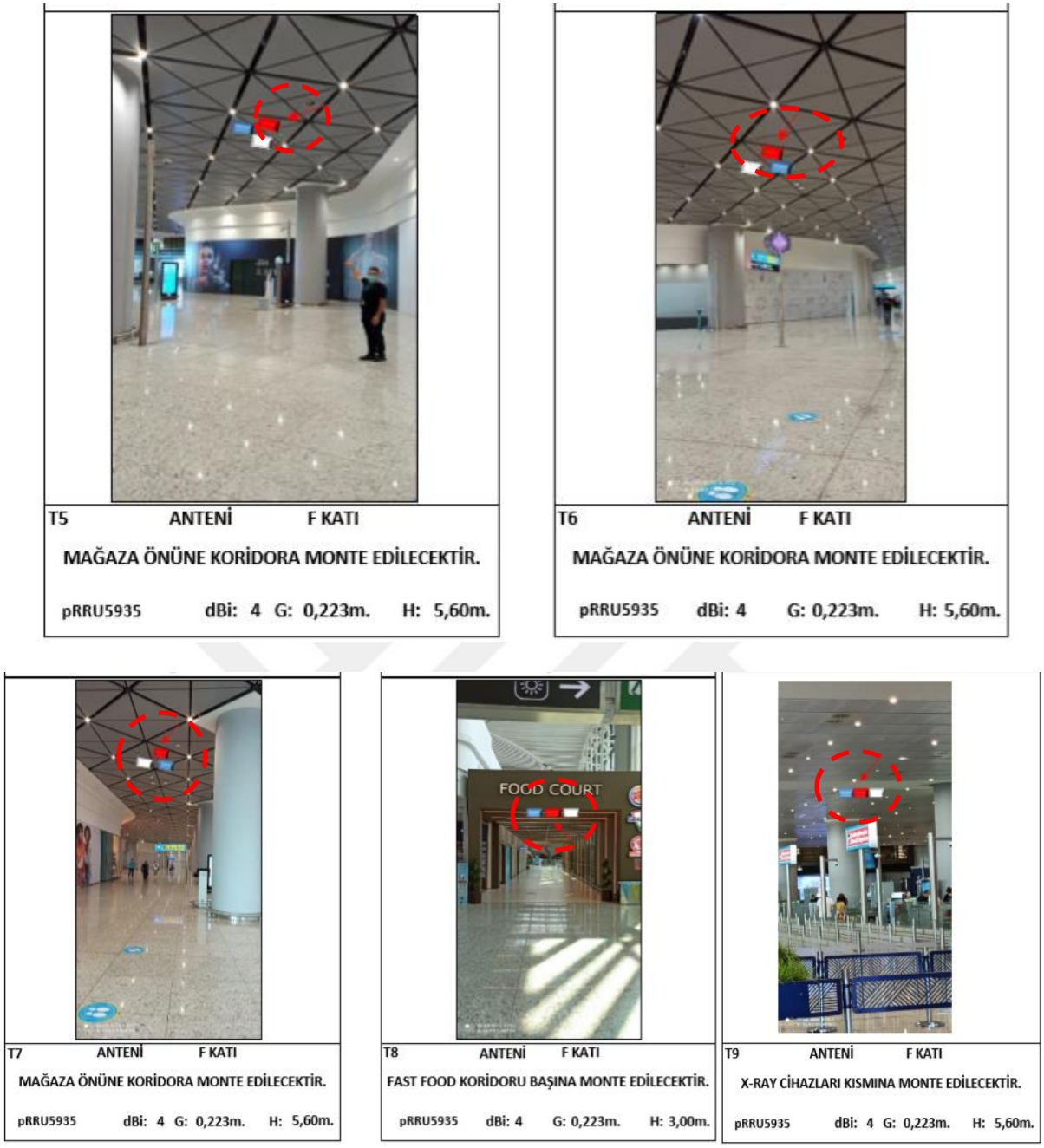
Şekil 3.3.3.2 Havalimanı 1. Saha Anten Yerleri

2.Saha

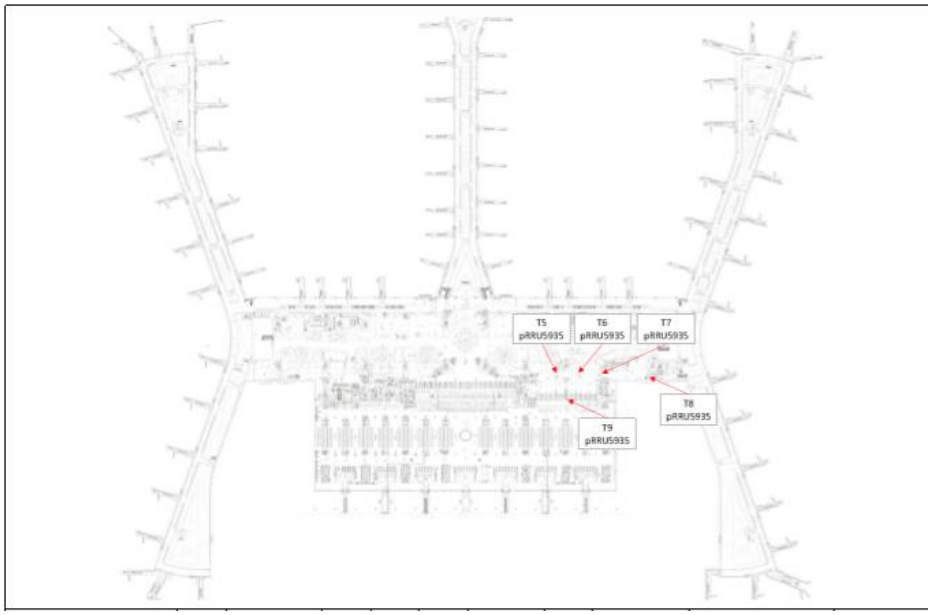


Şekil 3.3.3.3 Havalimanı 2. Saha Anten Yerleri

3.Saha:



Şekil 3.3.3.4 Havalimanı 3. Saha Anten Yerleri



Şekil 3.3.3.5 Havalimanı 3. Saha Anteler Kroki

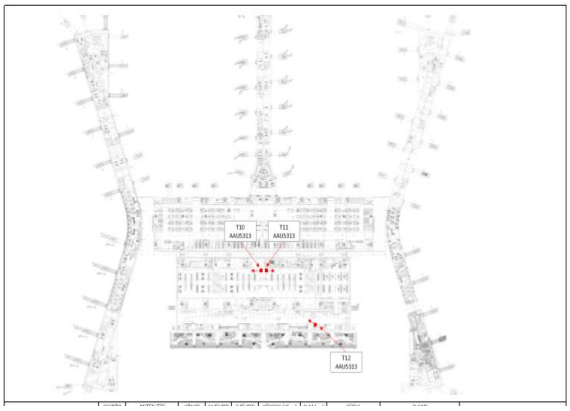
4.Saha:







Şekil 3.3.3.6 4. Saha Anten Yerleri



Şekil 3.3.3.7 4. Saha Havalimanı Kroki

3.4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde 5G test sahaların özellikleri ve bu sahalarda yapılmış olan ölçüm sonuçları paylaşılmıştır. Tablolar ile elde edilen sonuçlara ilişkin açıklamalar değerlendirme ve sonuç kısmında belirtilmiştir.

3.4.1. Maslak 5G Test Sahası Ölçümler:

Yapılan ölçümler sonucunda aşağıdaki Tablo 3.4.1(tüm teknolojiler) – Tablo 3.4.2 (2G, 3G ve 4.5G) ve Tablo 3.4.3' de (Yanlız 5G) ölçülen değerler elde edilmiştir.

Ölçüm yapılan bu test sahasında 2G-3G-4.5G-5G saha özellikleri aşağıda verilmiştir.

	2G	3G	4.5G	5G
Frekans (Mhz)	900	2100	Sektör 1: 900 ve 1800 Sektör 2-3: 900,1800 ve 2600	3700
Saha adı	İTÜ STAD	İTÜ STAD	İTÜ STAD	İTÜ Maslak Spor Tesisleri Outdoor
Koordinat	N 41° 06' 06,47''/ E 29° 01' 28,16''	N 41° 06' 06,47''/ E 29° 01' 28,16''	N 41° 06' 06,47'' / E 29° 01' 28,16''	N 41° 06' 06,47''/ E 29° 01' 28,16''
Kullanılan Maksimum Çıkış Gücü (Watt)	5	5	5	2
Anten Kazancı (dBi)	14,5	17,5	14	25
Sektör Sayısı	3	3	3	3
Anten Sayısı	3	3	3	3
Anten Tipi	ASI4518R11	ASI4518R11	ASI4518R11	AAU5613
Antenlerin Yerden Yüksekliği (m)	10	10	10	10
Güvenlik Mesafesi (m)	7,881	7,467	7,881	4,458
Ölçüm Anteni Tip	ISOTROPIC PROBE	ISOTROPIC PROBE	ISOTROPIC PROBE	ISOTROPIC PROBE
Frekans Aralığı	100 KHz - 8 GHz	100 KHz - 8 GHz	100 KHz - 8 GHz	100 KHz - 8 GHz

Ölçüm Yapılan Saha Özellikleri

3 sektörlü outdoor(dış alan) m-MIMO test sahasının bulunmakta olup beamforming özelliği ile de Maslak Ayazağa' da gerçekleştirilmiştir. Her sektörün farklı uzaklıklarında değerler okunup kaydedilmiştir. Maslak'ta ki yapılan ölçümler sonucunda Tablo 3.4.1 ve Tablo 3.4.2 ve Tablo 3.4.3'de verilen değerler elde edilmiştir. Bu değerler sektörlere ilişkin grafik analizlerde de gösterildiği üzere ortam yoğunluğu değerleri olup, aşağıda gösterilen düzenleyici otoritelerin limit değerlerinin altındadır.

- **900 MHz için = 0,275* (900)½ = 8,25 V/m**
- **1800 MHz için = 0,275*(1800)½ = 11,67 V/m**
- **2600 MHz için = 12,3 V/m**
- **3700 MHz için = 12,3 V/m**

İlk olarak Maslak'daki ilk test sahasından alınmış farklı frekansların farklı uzaklıklarını içeren bu ölçümler incelenecek olduğunda, 5G' deki değerlerin mevcut spektrumlarla çok yakın sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Sahanın 1. Sektöründe yaklaşık 15 metrede alınmış iki ayrı ölçüme bakıldığında, 5G'de elektrik alan şiddeti 2,69 V/m iken diğer nesillerin sinyallerinin oluşturmuş olduğu değer 2.76 V/m olmuştur. 5G'nin daha yüksek EMF oluşturmasının aksine daha düşük bile değerler olabileceği görülmüştür.

Tartışma: Bununla birlikte 2. Sektörün yaklaşık 10 metre uzaklığındaki ölçümlerde 3,23 V/m ile 5G elektrik alanı diğer nesillerin değerlerinden küçük bir farkla üstünde çıkmıştır. Değerlerdeki doğrusal olmayan durum sinyallerin paternlerinden kaynaklanmış olup aynı zamanda m-MIMO sahanın beamforming özelliğinden dolayı aktif trafiğe göre yayılım yapmasından ötürü oluştuğu değerlendirilmiştir. Dolayısı ile burada hem m-MIMO hemde beamforming (hüzmeleme) özelliğini ve etkilerini deneyimleme imkanı bulunmuştur. Tüm koşullarda her üç sektörde de gerek yalnız 5G, gerekse diğer nesillerle yani (2G-3G-4G) ve (2G-3G-4G-5G) birlikte alınan ölçümlerde gerek ICNIRP gerekse Türkiye'de BTK tarafından daha ihtiyatlı belirlenmiş değerlerden çok daha düşük değerler ölçülmüştür.

Tablo 3.4.1 Maslak Aynı Anda Çalışan 2G, 3G ve 4.5G EMF değerleri

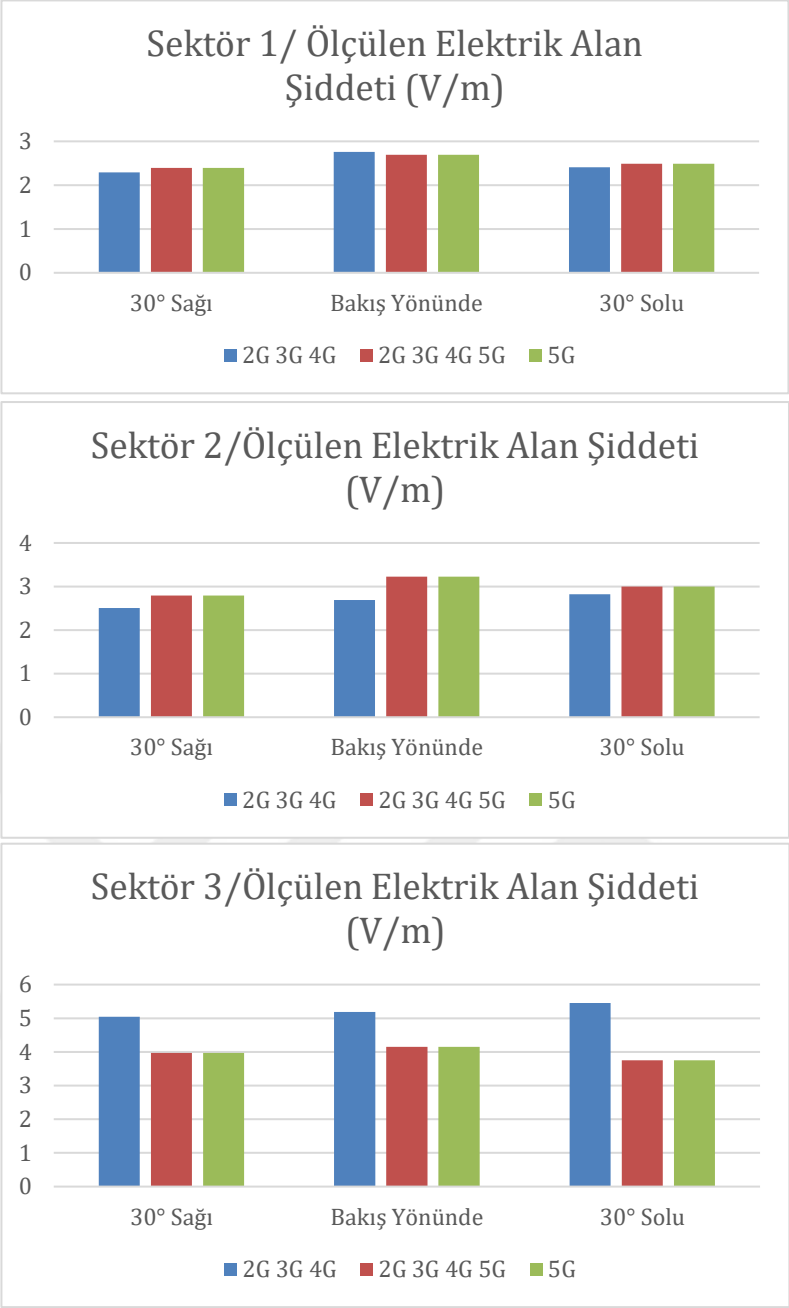
	Anten Sektör	Antene Bakış Yönü	Antene Olan Uzaklık (m)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m) Ortamın Toplamı	Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m2)
2G 3G 4G	1	30º Sağı	15	0,0061	2,29	0,0139
		Bakış Yönünde	15	0,0073	2,76	0,0202
		30º Solu	15	0,0064	2,41	0,0154
	2	30º Sağı	10	0,0067	2,51	0,0167
		Bakış Yönünde	10	0,0071	2,69	0,0192
		30º Solu	10	0,0075	2,82	0,0211
	3	30º Sağı	16	0,0134	5,04	0,0674
		Bakış Yönünde	16	0,0138	5,19	0,0714
		30º Solu	16	0,0145	5,45	0,0788

Tablo 3.4.2 Maslak Aynı Anda Çalışan 2G, 3G, 4.5G ve 5G EMF değerleri

	Anten Sektör	Antene Bakış Yönü	Antene Olan Uzaklık (m)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m) Ortamın Toplamı	Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m2)
2G 3G 4G 5G	1	30° Sağı	15	0,0063	2,39	0,0152
		Bakış Yönünde	15	0,0071	2,69	0,0192
		30° Solu	15	0,0066	2,49	0,0164
	2	30° Sağı	10	0,0074	2,79	0,0206
		Bakış Yönünde	10	0,0086	3,23	0,0277
		30° Solu	10	0,008	3	0,0239
	3	30° Sağı	16	0,0105	3,97	0,0418
		Bakış Yönünde	16	0,011	4,15	0,0457
		30° Solu	16	0,0099	3,75	0,0373

Tablo 3.4.3 Maslak Sahası Yalnız 5G EMF Değerleri

	Anten Sektör	Antene Bakış Yönü	Antene Olan Uzaklık (m)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m) Ortamın Toplamı	Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m2)
5G	1	30° Sağı	15	0,0063	2,39	0,0152
		Bakış Yönünde	15	0,0071	2,69	0,0192
		30° Solu	15	0,0066	2,49	0,0164
	2	30° Sağı	10	0,0074	2,79	0,0206
		Bakış Yönünde	10	0,0086	3,23	0,0277
		30° Solu	10	0,008	3,0	0,0239
	3	30° Sağı	16	0,0105	3,97	0,0418
		Bakış Yönünde	16	0,011	4,15	0,0457
		30° Solu	16	0,010	3,75	0,0373



Şekil 3.4.1 Her 3 Sektöre Ait Ölçülen EMF Değerleri Karşılaştırma Grafikleri

3.4.2. ATAŞEHİR 5G Test Sahası:

Yapılan ölçümler sonucunda aşağıdaki Tablo 3.4.4 ve Tablo 3.4.5'de verilen değerler elde edilmiştir.

Ataşehir'deki indoor test sahasında da hem 1800MHz hemde 3700Mhz ölçümleri yapılmıştır ve Tablo 3.4.4 ve Tablo 3.4.5'deki değerler elde edilmiştir. Burada ise 2 farklı band da yine indoor alanda 2 farklı sektörde sadece 5G ölçülmüş olup yine ölçüm değerlerinde yukarıda belirtilen standartların üzerinde bir değer görülmemiş olup, oldukça altında değerler ölçülmüştür. Her iki band da iki sektörde de ölçülen en yüksek elektrik alan değeri 0,9V/m olmuştur.

FREKANS: 1800 Mhz

SAHA ADI: Ataşehir Mess Indoor

KOORDİNATLAR: N 40° 59' 31,00" E 29° 06' 14,80

MAKSİMUM ÇIKIŞ GÜCÜ (Watt): 0.100W

FREKANS ARALIĞI: 100 KHz - 8 GHz

ANTEN KAZANCI (dBi): 3

ANTEN SAYISI: 2

ANTEN TİPİ: PRRU5923

ANTENLERİN YERDEN YÜKSEKLİĞİ (m): 5,5m

GÜVENLİK MESAFESİ (m): 0,210m

ÖLÇÜM ANTENİ TİPİ: ISOTROPIC PROBE

Tablo 3.4.4 Ataşehir Sahası 1800MHz 5G EMF Değerleri

	Anten Sektör	Antene Bakış Yönü	Antene Olan Uzaklık (m)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m2)
					Ortamın Toplamı	
5G	1 ASMA KAT BÜYÜK ALAN ÇALIŞMA ALANI ORTA KISIM	30º Sağı	6.7		0,84	0,0019
		Bakış Yönünde	6.5		0,90	0,0021
		30º Solu	6.7		0,89	0,0021
	2 ASMA KAT YAN KORİDOR ORTA KISIM	30º Sağı	4.2		0,74	0,0015
		Bakış Yönünde	4.0		0,77	0,0016
		30º Solu	4.2		0,75	0,0015

Frekans : 3700 Mhz

Saha Adı: Ataşehir Mess Indoor

Frekans Aralığı : 100 KHz - 8 GHz

Koordinat : N 40° 59' 31,00" E 29° 06' 14,80

MAKSİMUM ÇIKIŞ GÜCÜ (Watt): 0.100W

ANTEN KAZANCI (dBi): 4

ANTEN SAYISI: 3

ANTEN TİPİ: PRRU5935

ANTENLERİN YERDEN YÜKSEKLİĞİ (m): 5,5m

GÜVENLİK MESAFESİ (m): 0,223m

Ölçüm Anteni Tip : ISOTROPIC PROBE

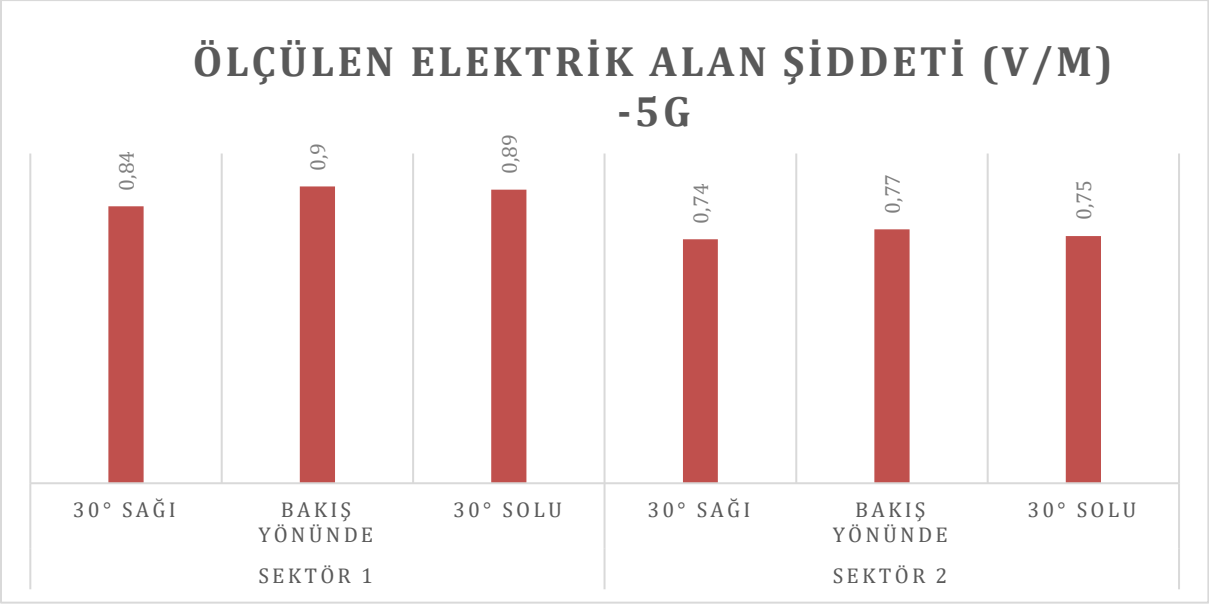
Tablo 3.4.5 Ataşehir Sahası 5G 3700Mhz EMF Değerleri

	Anten Sektör	Antene Bakış Yönü	Antene Olan Uzaklık (m)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m) Ortamın Toplamı	Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m2)
5G	1 ASMA KAT BÜYÜK ALAN WC GİRİŞ KOR.ÖN TARAF	30º Sağı	6,70		0,85	0,0019
		Bakış Yönünde	6,50		0,87	0,0020
		30º Solu	6,70		0,81	0,0017
	2 ASMA KAT BÜYÜK ALAN ÇALIŞMA ALANI ORTA KISIM	30º Sağı	6,70		0,84	0,0021
		Bakış Yönünde	6,50		0,90	0,0019
		30º Solu	6,70		0,89	0,0021
	3 ASMA KAT YAN KORiDOR ORTA KISIM	30º Sağı	4,20		0,74	0,0015
		Bakış Yönünde	4,00		0,77	0,0016
		30º Solu	4,20		0,75	0,0015

Frekans: 1800 Mhz

Sektör 1: Asma Kat Büyük Alan Çalışma Alanı Orta Kısım

Sektör 2: Asma Kat Yan Koridor Orta Kısım

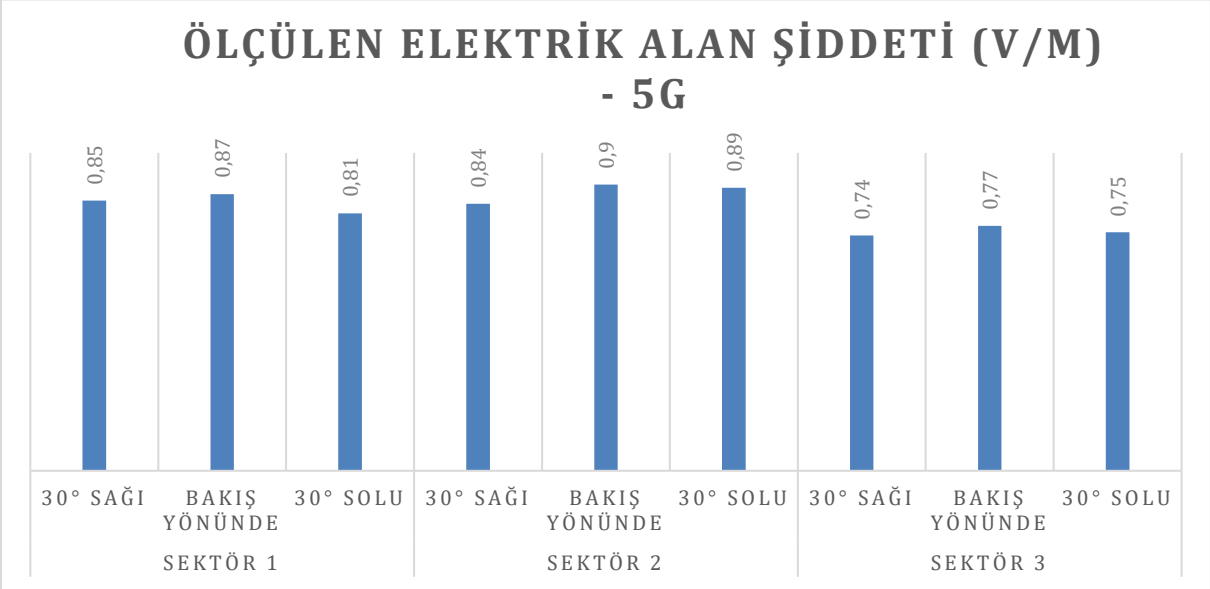


Frekans: 3700 Mhz

Sektör 1: Asma Kat Büyük Alan WC Giriş Kor.Ön Taraf

Sektör 2: Asma Kat Büyük Alan Çalışma Alanı Orta Kısım

Sektör 3: Asma Kat Yan Koridor Orta Kısım



Şekil 3.4.2 Sektörlere Ait 1800MHz ve 3700MHz EMF Karşılaştırma Grafikleri

3.4.3. İSTANBUL HAVALİMANI'nda Bulunan 5G Test Sahası:

Yeni İstanbul Havalimanına 4 adet 5G test istasyonu kurulmuştur. Aşağıda her 4 istasyona ilişkin ortak değerler verilmekte olup, EMR ölçümleri ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda aşağıdaki Tablo 3.4.6, Tablo 3.4.7, Tablo 3.4.8 ve Tablo 3.4.9'da verilen değerler elde edilmiştir

Yeni İstanbul Havalimanı'ndaki mevcuttaki en büyük test alanında 4 saha ve birçok sektörde 3700Mhz bandında 5G indoor ölçümler alınmıştır ve Tablo 3.4.6 – 3.4.7 – 3.4.8 ve 3.4.9'daki değerler elde edilmiştir. Burada da ilk sahada en yüksek ölçülen elektrik alanı değerleri ise; 3,04V/m, 2. sahada 2,68V/m; 3. sahada 4,19V/m ve 4. sahada ise 0,9V/m olarak ölçülmüştür ki antenlere çok yakın mesafelerde güvenlik mesafesinde alınan ölçümlerdir. Ölçüm alınan bu değerler gerek ICNIRP gerekse Türkiye'deki düzenleyici Kurum tarafından belirlenen limti değerlerinin oldukça altında olduğu görülmüştür.

3.4.3.1 İSTANBUL HAVALİMANI'nda bulunan 1. Baz İstasyonu 5G test sahası

Frekans : 3700 Mhz

Saha Adı: İstanbul 3. Havalimanı Indoor

Koordinat : N 41° 15' 38,85" E 28° 44' 33,89"

MAKSİMUM ÇIKIŞ GÜCÜ (Watt): 0.100W

Ölçüm Anteni Tip : ISOTROPIC PROBE

ANTEN KAZANCI (dBi): 25

ANTEN SAYISI: 2

ANTEN TİPİ: AAU5613

ANTENLERİN YERDEN YÜKSEKLİĞİ (m): 6m

GÜVENLİK MESAFESİ (m): 2,504m

Frekans Aralığı : 100 KHz - 8 GHz

Tablo 3.4.6 İstanbul Havalimanı 1. Saha 5G EMF Değerleri

	Anten Sektör	Antene Bakış Yönü	Antene Olan Uzaklık (m)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m) Ortamın Toplamı	Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m2)
5G	1 K KATI VEZNELER KISMINA	30° Sağı	4,40		3,04	0,0245
		Bakış Yönünde	4,20		2,86	0,0217
		30° Solu	4,40		2,78	0,0205
	2 K KATI DIŞ HATLAR GİDEN YOLCU KORİDORU BAŞIN	30° Sağı	4,40		2,14	0,01215
		Bakış Yönünde	4,20		2,33	0,0144
		30° Solu	4,40		2,25	0,01343

3.4.3.2 İSTANBUL HAVALİMANI'nda Bulunan 2. Baz İstasyonu 5G Test Sahası

Frekans : 3700 Mhz

Saha Adı: İstanbul 3. Havalimanı Indoor

Koordinat : N 41° 15' 38,85" E 28° 44' 33,89"

KULLANILAN MAKSİMUM ÇIKIŞ GÜCÜ (Watt):0.100W

ANTEN KAZANCI (dBi): 25

SEKTÖR SAYISI: 2

ANTEN SAYISI: 2

ANTEN TİPİ: AAU5613

ANTENLERİN YÜKSEKLİĞİ (m): 6m

GÜVENLİK MESAFESİ (m): 2,504m

Ölçüm Anteni Tip : ISOTROPIC PROBE

Tablo 3.4.7 İstanbul Havalimanı 2. Saha 5G EMF değerleri

	Anten Sektör	Antene Bakış Yönü	Antene Olan Uzaklık (m)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m) Ortamın Toplamı	Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m2)
5G	1 K KATI VEZNELER KISMINA	30° Sağı	4,40		2,57	0,01752
		Bakış Yönünde	4,20		2,68	0,01905
		30° Solu	4,40		2,60	0,01793
	2 K KATI DIŞ HATLAR GİDEN YOLCU KORİDORU BAŞIN	30° Sağı	4,40		2,39	0,01515
		Bakış Yönünde	4,20		2,27	0,01367
		30° Solu	4,40		2,18	0,01261

3.4.3.3 İSTANBUL HAVALİMANI'nda bulunan 3. Baz İstasyonu 5G Test Sahası

Frekans : 3700 Mhz

Saha Adı: İstanbul 3. Havalimanı Indoor
Koordinat : N 41° 15' 38,85" E 28° 44' 33,89"
KULLANILAN MAKSİMUM ÇIKIŞ GÜCÜ (Watt): 0.100W
ANTEN KAZANCI (dBi): 4
ANTEN SAYISI: 5
ANTEN TİPİ: PRRU5923
ANTENLERİN YERDEN YÜKSEKLİĞİ (m): 3m
GÜVENLİK MESAFESİ (m): 0,223m
Ölçüm Anteni Tip : ISOTROPIC PROBE
Frekans Aralığı : 100 KHz - 8 GHz

Tablo 3.4.8 İstanbul Havalimanı 3. Saha 5G EMF Değerleri

	Anten Sektör	Antene Bakış Yönü	Antene Olan Uzaklık (m)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m) Ortamın Toplamı	Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m2)
5G	1 F KATI MAĞAZA ÖNÜNE KORİDORA	30° Sağı	4		2,63	0,01835
		Bakış Yönünde	3,8		2,48	0,01631
		30° Solu	4		2,34	0,01452
	2 F KATI MAĞAZA ÖNÜNE KORİDORA	30° Sağı	4		2,93	0,01605
		Bakış Yönünde	3,8		2,59	0,01779
		30° Solu	4		2,43	0,01566
	3 F KATI MAĞAZA ÖNÜNE KORİDORA	30° Sağı	4		2,93	0,02277
		Bakış Yönünde	3,8		2,74	0,01991
		30° Solu	4		2,65	0,01863
	4 F KATI FAST FOOD KORİDORU BAŞINA	30° Sağı	1,4		2,94	0,04118
		Bakış Yönünde	1,2		4,11	0,04481
		30° Solu	1,4		4,19	0,04657
	5 F KATI X-RAY CİHAZLARI KISMINA	30° Sağı	4		3,08	0,02516
		Bakış Yönünde	3,8		2,94	0,02293
		30° Solu	4		2,86	0,0217

3.4.3.4 İSTANBUL HAVALİMANI'nda bulunan 4. Baz İstasyonu 5G test sahası

Frekans : 3700 Mhz

Frekans Aralığı : 100 KHz - 8 GHz

Saha Adı: İstanbul 3. Havalimanı Indoor

Koordinat : N 41° 15' 38,85" E 28° 44' 33,89"

KULLANILAN MAKSİMUM ÇIKIŞ GÜCÜ (Watt):0.100W

SEKTÖR SAYISI: 3

ANTEN KAZANCI (dBi): 23,8

ANTEN SAYISI: 3

ANTEN TİPİ: PRRU5923

ANTENLERİN YERDEN YÜKSEKLİĞİ (m): 5,5m

GÜVENLİK MESAFESİ (m): 2,181m

Ölçüm Anteni Tip : ISOTROPIC PROBE

Tablo 3.4.9. İstanbul Havalimanı 4.Saha 5G EMF değerleri

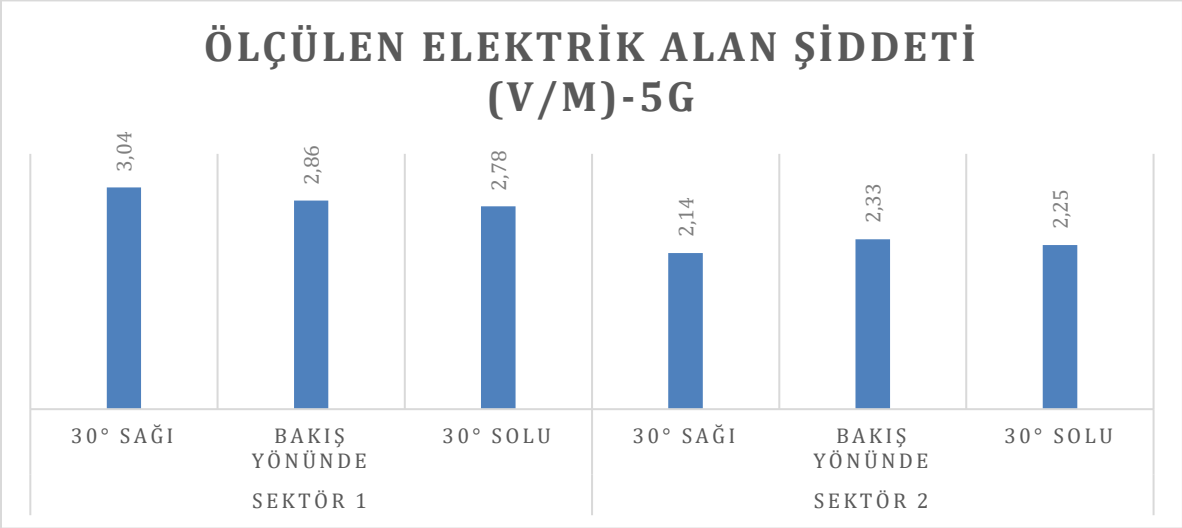
	Anten Sektör	Antene Bakış Yönü	Antene Olan Uzaklık (m)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m) Ortamın Toplamı	Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m2)
5G	1 ASMA KAT BÜYÜK ALAN WC GİRİŞ KOR.ÖN TARAF	30º Sağı	6,70		0,85	0,0019
		Bakış Yönünde	6,50		0,87	0,0020
		30º Solu	6,70		0,81	0,0017
	2 ASMA KAT BÜYÜK ALAN ÇALIŞMA ALANI ORTA KISIM	30º Sağı	6,70		0,84	0,0021
		Bakış Yönünde	6,50		0,90	0,0019
		30º Solu	6,70		0,89	0,0021
	3 ASMA KAT YAN KORiDOR ORTA KISIM	30º Sağı	4,20		0,74	0,0015
		Bakış Yönünde	4,00		0,77	0,0016
		30º Solu	4,20		0,75	0,0015

İSTANBUL HAVALİMANI 1.İstasyon 5G Test Sahası Ölçüm Karşılaştırma Grafikleri:

Frekans : 3700 Mhz

Sektör 1: K Katı Vezneler Kısmına

Sektör 2: K Katı Dış Hatlar Giden Yolcu Koridoru Başı

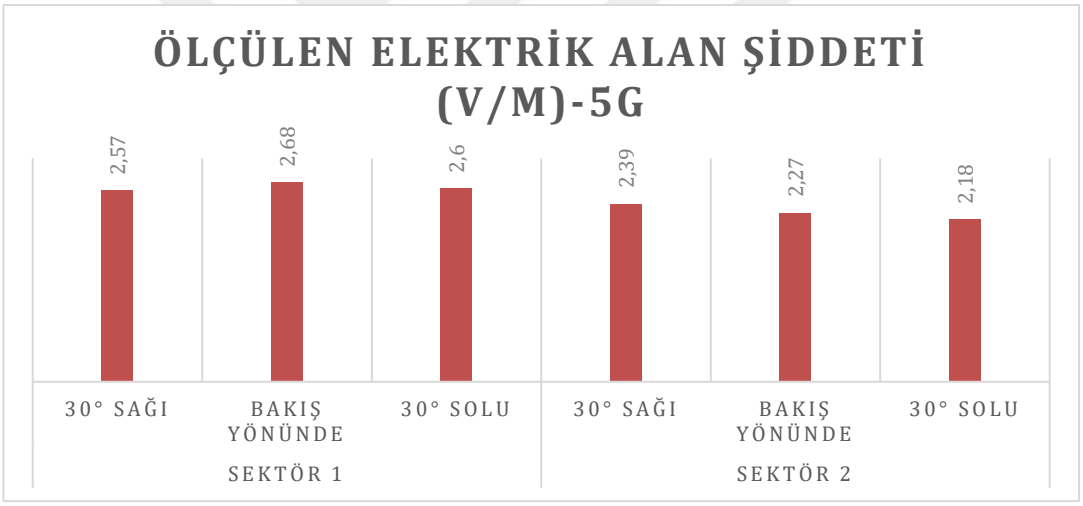


İSTANBUL HAVALİMANI <u>2.İstasyon</u> 5G Test Sahası Ölçüm Karşılaştırma Grafikleri:

Frekans : 3700 Mhz

Sektör 1: K Katı Vezneler Kısmına

Sektör 2: K Katı Dış Hatlar Giden Yolcu Koridoru Başı



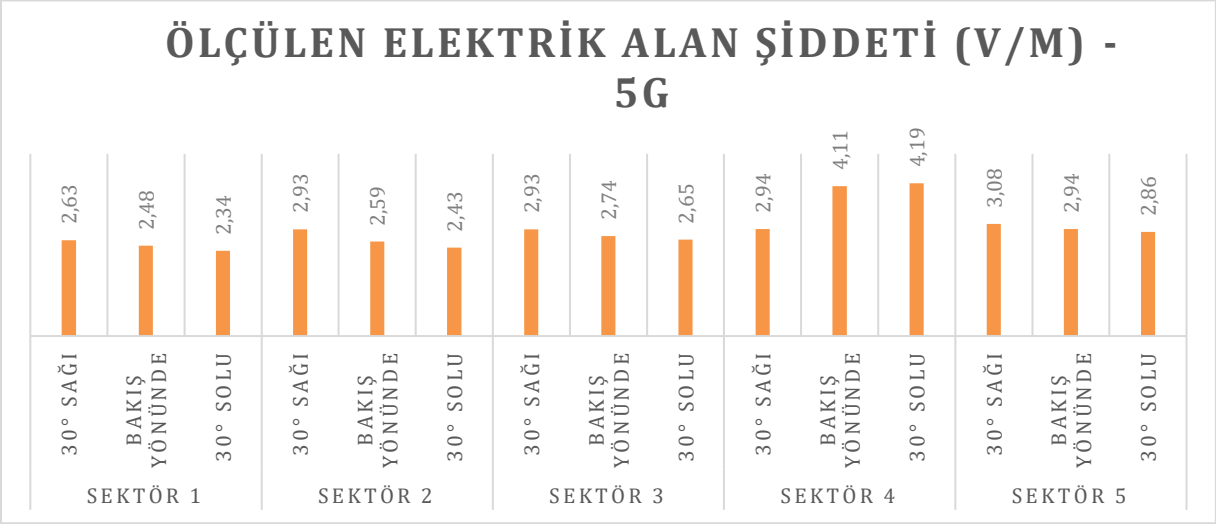
İSTANBUL HAVALİMANI <u>3. İstasyon</u> 5G Test Sahası Ölçüm Karşılaştırma Grafikleri:

Frekans : 3700 Mhz

Sektör 1,2 ve 3: F Katı Mağaza Önüne Koridora

Sektör 4: F Katı Fast Food Koridoru Başına

Sektör 5: F Katı X-Ray Cihazları Kısmına



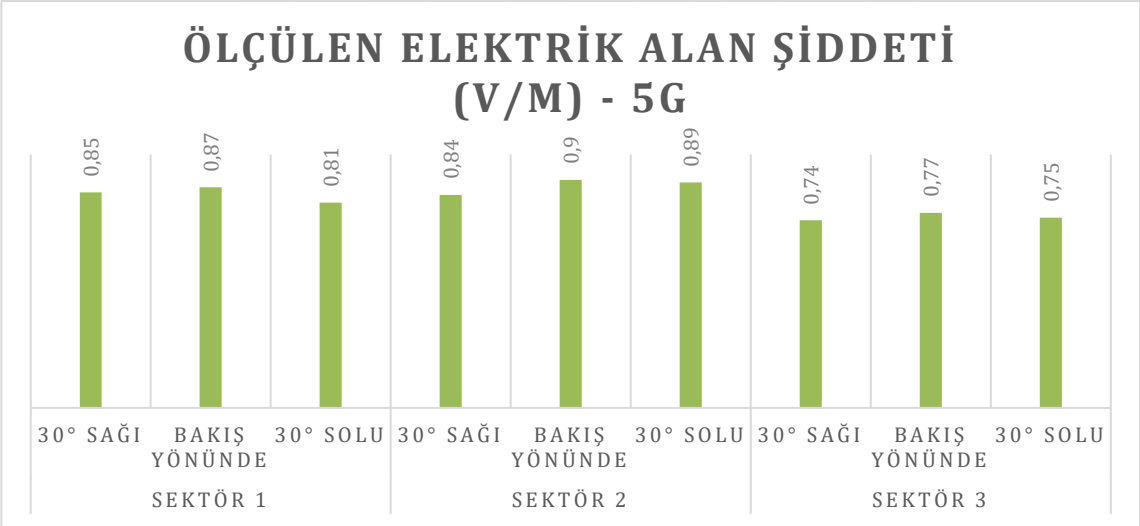
İSTANBUL HAVALİMANI 4. İstasyon 5G Test Sahası Ölçüm Karşılaştırma Grafikleri:

Frekans : 3700 Mhz

Sektör 1: Asma Kat Büyük Alan WC Giriş Kor. Ön Taraf

Sektör 2: Asma Kat Büyük Alan Çalışma Alanı Orta Kısım

Sektör 3: Asma Kat Yan Koridor Orta Kısım



Şekil 3.4.3 Saha ve Sektörlere ait 3700MHz Indoor EMF Karşılaştırma Grafikleri

4. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ:

5G, elektromanyetik spektrum, özellikle de radyo spektrumu vasıtasıyla kablosuz olarak bilgi taşır. Radyo spektrumu içinde, bazıları 5G verileri için kullanılan değişken frekans bantları seviyeleri bulunmaktadır. 5G ile hız önemli bir faktördür. Bant genişliği, sinyalin en yüksek ve en düşük frekansı arasındaki farkla ölçülür. Daha yüksek bandlara ulaşmak için radyo spektrumunda yükseldiğinizde, frekans aralığı daha yüksektir ve bu nedenle verim artar (yani, daha hızlı indirme hızı elde edersiniz). Birçok cihazın kullanıldığı nüfusu çok yoğun olan popüler bir şehirdeki gibi, daha fazla veri gerektiren alanlarda daha yüksek 5G frekansları kullanabilir. Bununla birlikte, düşük bant frekansları, tek bir kuleden daha fazla cihaza ve 5G hücreye doğrudan görüş hattı olmayan alanlara 5G erişimi sağlamak için kullanışlıdır.

Bu kapsamda güncel durumda kullanım amacına göre bakıldığında 5G frekans aralıkları (çok katmanlı spektrum adı verilen):

C-band : Kapsam ve kapasite için 2–6 GHz.

Süper Veri Katmanı : Yüksek bant genişlikli alanlar için 6 GHz (örneğin, 24–29 GHz ve 37–43 GHz).

Kapsama Alanı : İç ve daha geniş kapsama alanları için 2 GHz'in altında (700 MHz gibi).

Tüm servis sağlayıcılar 5G için aynı frekans bandını kullanmazlar. Yukarıda belirtildiği gibi, 5G spektrumunun herhangi bir bölümünü kullanmanın avantajları ve dezavantajları vardır.

Bu kapsamda günümüzde 5G'yi uygulamaya başlayan ülkelerde mobil iletişim spektrumuna şu an kullanılan başta C-band olmak üzere 2600 bandının üstünde bulunan 3500/3700Mhz bandıda eklenerek kullanılmaya başlanmıştır. Diğer taraftan spektumdaki halihazırda kullanılan 1800MHz bandında da 5G testi yapılmakta olup ölçümleri alınmıştır. Daha yüksek frekans ve küçük dalga boyu özelliğindeki bu band EMF değerleri açısından değerlendirilmek istenmiştir. Buradan yola çıkarak bu yüksek lisans tezi, yüksek frekansların daha çok elektromanyetik alan oluşturacağı beklentisi bu ölçekte bir frekans değişimiyle diğer teknolojilerle birlikte veya yalnız 5G'de yaşanacak mı sorusuna cevap oluşturma amacıyla seçilmiştir. Ülkemizde henüz 5G yetkilendirmesi verilmemesi ve aktif kullanılan 5G sahaları olmaması sebebi ile

imkanlar çerçevesinde ilgili Düzenleyici Kurum tarafıdan verilen 5G test izinleri kapsamındaki sınırlı test sahalarından elde edilen ölçümler ortaya koymuştur ki; yeni açılacak olan frekans bandları, mevcutta kullanılan bandlara nazaran anlamlı EMF değeri farklılığı yaratmadığı gözlenmiştir. İleriki aşamalarda 700MHz ve 2600MHz içinde bu testler yapılabilir. Mevcutta bulunan test sahaları üzerinden yapılan canlı ölçümlerde sırası ile;

- **1800MHz-3700Mhz bandında ve farklı güçlerde,**
- **İndoor (iç alan) ve outdoor (dış alan) sahalarda,**
- **M-MIMO-directional (doğrusal) ve indoor (iç alan) antenlerle,**
- **Sadece 5G olan sahalarda ve aynı sahada bulunan diğer aktif nesillere ait teknolojilerle (2G/3G/4.5G) birlikte olan test sahasında,**

ölçümler yapılmıştır.

Bu çalışmada 5G frekansları ve önceki bütün teknolojilerdeki aktif nesillere ait frekansların elektromanyetik alan değerleri ölçülmüştür. Elektrik alan ve manyetik alan ölçümlerinin yapıldığı bu çalışmada farklı parametrelerde farklı özelliklerdeki 3 farklı test sahası kullanılmıştır.

- 3 sektörlü outdoor(dış alan) m-MIMO test sahasının bulunmakta olup beamforming özelliği ile de Maslak Ayazağa' da gerçekleştirilmiştir. Her sektörün farklı uzaklıklarında değerler okunup kaydedilmiştir. Maslak'ta ki yapılan ölçümler sonucunda Tablo 3.4.1 ve Tablo 3.4.2 ve Tablo 3.4.3'de verilen değerler elde edilmiştir. Bu değerler sektörlere ilişkin grafik analizlerde de gösterildiği üzere ortam yoğunluğu değerleri olup, aşağıda gösterilen düzenleyici otoritelerin limit değerlerinin altındadır.

  Türkiye'deki Düzenlemeye Göre:

  - **900 MHz için = 0,275* (900)½ = 8,25 V/m**
  - **1800 MHz için = 0,275*(1800)½ = 11,67 V/m**
  - **2500 MHz için = 12,3 V/m**
  - **3700 MHz için = 12,3 V/m**

- İlk olarak Maslak'taki ilk test sahasından alınmış farklı frekansların farklı uzaklıklarını içeren bu ölçümler incelenecek olduğunda, 5G' deki değerlerin mevcut spektrumlarla çok yakın sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Sahanın 1. Sektöründe yaklaşık 15 metrede alınmış iki ayrı ölçüme bakıldığında, 5G'de elektrik alan şiddeti 2,69 V/m iken diğer nesillerin sinyallerinin oluşturmuş olduğu değer 2.76 V/m olmuştur. 5G'nin daha yüksek EMF oluşturmasının aksine daha düşük bile değerler olabileceği görülmüştür. Bununla birlikte 2. Sektörün yaklaşık 10 metre uzaklığındaki ölçümlerde 3,23 V/m ile 5G elektrik alanı diğer nesillerin değerlerinden küçük bir farkla üstünde çıkmıştır. Değerlerdeki doğrusal olmayan durum sinyallerin paternlerinden kaynaklanmış olup aynı zamanda m-MIMO sahanın beamforming özelliğinden ötürü aktif trafiğe göre yayılım yapmasından ötürü oluşmaktadır. Dolayısı ile burada hem m-MIMO hemde beamforming (hüzmeleme) özelliğini ve etkilerini deneyimleme imkanı bulunmuştur. Tüm koşullarda her üç sektörde de gerek yalnız 5G, gerekse diğer nesillerle yani (2G-3G-4G) ve (2G-3G-4G-5G) birlikte alınan ölçümlerde gerek ICNIRP gerekse Türkiye'de BTK tarafından daha ihtiyatlı belirlenmiş değerlerden çok daha düşük değerler ölçülmüştür.
- Yine Ataşehir'deki indoor test sahasında da hem 1800MHz hemde 3700Mhz ölçümleri yapılmıştır ve tablo 3.4.4 ve 3.4.5'deki değerler elde edilmiştir. Burada ise 2 farklı band da yine indoor alanda 2 farklı sektörde sadece 5G ölçülmüş olup yine ölçüm değerlerinde yukarıda belirttilen standartların üzerinde bir değer görülmemiş olup, oldukça altında değerler ölçülmüştür. Her iki bandda da iki sektörde de ölçülen en yüksek elektrik alan değeri 0,9V/m olmuştur.
- Dünya'nın en büyük havalimanlarından biri olan İstanbul Havalimanı'nda ki mevcuttaki en büyük test alanında 4 saha ve birçok sektörde 3700Mhz bandında 5G indoor ölçümler alınmıştır ve tablo 3.4.6 – 3.4.7 – 3.4.8 ve 3.4.9'daki değerler elde edilmiştir. Burada da ilk sahada en yüksek ölçülen elektrik alanı değerleri ise; 3,04V/m, 2. sahada 2,68V/m; 3. sahada 4,19V/m ve 4. sahada ise 0,9V/m olarak ölçülmüştür ki antenlere çok yakın mesafelerde güvenlik mesafesinde alınan ölçümlerdir.

Belirtildiği üzere bu tez çalışmasını mevcut 5G test sahası olanakları kapsamında, farklı güvenlik sertifikası gereklilikleri dikkate alınarak farklı band, parametre ve kategorilerde ölçümleri deneyimlemek ve sonuçları elde etmek üzere ele aldım. Çalışma öncesinde de beklenildiği gibi diğer nesillerde olduğu gibi 5G ölçümlerinde de

güncel EMF değerlerine oldukça yakın değerler ölçülmüş olup; bu değerler gerek ICNIRP gerekse Türkiye'de BTK tarafından daha ihtiyatlı belirlenmiş değerlerden çok daha düşük değerler olduğu görülmüştür.

Bu kapsamda bu tez çalışması kapsamındaki imkanlar ve elde edilen verilere dayanarak;

- **Test sahalarında indoor/outdoor - farklı güçlerde - farklı frekans bandlarında - diğer teknolojilerle birlikte veya ayrı yapılan ölçümlerde elde edilen veriler ışığında 5G EMR/EMF değerlerinde önceki nesillerle birlikte veya ayrı olarak yakın sonuçlar görülmüştür ve büyük farklılıklar arz etmemektedir.**
- **Gerek ICNIRP, gerekse Türkiye'deki düzenleyici otoritenin düzenlemelerindeki elektrik alan standartlarının üzerinde bir değer ve limit aşımı görülmemiştir. Hatta bir çok saha ve sektördeki ölçümler bu değerlerin oldukça altında kaldığı gözlemlenmiştir.**

KAYNAKLAR

[1] Huurdeman A.A., 2003: The Worldwide History of Telecommunications, John Wiley&Sons, New Jersey

[2] “5G Nedir? Geleceğin İletişim Teknolojisi,” Vargonen Blog, 22/05/2020. URL: https://www.vargonen.com/blog/5g-nedir-gelecegin-iletisim-teknolojisi/. [Erişim Tarihi: 10/11/2020].

[3] Bhalla MR., Bhalla AV.,2010: International Journal of Computer Applications, Citeseer

[4] Sharma p., 2013: Evolution of Mobile Wireless Communication Networks-1G to 5G as well as Future Prospective of Next Generation Communication Network, IJCSMC, Vol. 2, Issue. 8, August 2013, pg.47 – 53

[5] Bjornson E., Larsson E. and Marzetta T., Massive MIMO: Ten Myths and One Critical Question

[6] Shukla S., Khare V., Garg S., Sharma P., 2013: Comparative Study of 1G, 2G, 3G and 4G, Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences (JEC&AS) ISSN No: 2319-5606 Volume 2, No.4, 55-63

[7] Farooq M., Ahmed M.I., Al U., 2013: Future Generations of Mobile Communication Networks, Academy of Contemporary Research Journal V II (I), 24-30, ISSN: 2305-865X, 24-30

[8] Uskela S., 2003: Key Concepts for Evolution Toward Beyond 3G Networks, IEEE Wireless Communications, 1536-1284, 43-48

[9] Beyaznet, “2G 3G 4G 5G Nedir?,” Beyaz Net, 25/01/2019.

URL: https://www.beyaz.net/tr/network/makaleler/2g_3g_4g_5g_nedir.html.

[10] Parikh J., and Basu A., 2011: LTE Advanced: The 4G Mobile Broadband Technology, International Journal of Computer Applications 13 (5): 17-21

[11] 3GPP TR 36.814, V9.0.0, 2010, Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, 2010

[12] Bilimçağ, “Geçmişten Günümüze Hücresel Haberleşme Sistemlerinin Gelişimi,” BİLİM ÇAĞI, 22/11/2017.
URL: https://www.bilimcag.com/calismalarim/haberlesme-sistemleri/gecmisten-gunumuze-hucresel-haberlesme-sistemlerinin-gelisimi/.

[13] Mondal S., Sinha A., Routh J., A Survey on Evolution of Wireless Generations 0G to 7G, International Journal of Advance Research in Science and Engineering- IJARSE, Vol-1, Iss-2, 5-10

[14] Nossenson R., Long-Term Evolution Network Architecture

[15] “5G Explained – How 5G Works,” EMF.
URL: http://www.emfexplained.info/?ID=25916. [Erişim Tarihi: 12/11/2020].

[16] “5G bağlantı nedir, nasıl çalışır” kartal24.com, 02/02/2020.
URL: https://www.kartal24.com/102971-5g-baglanti-nedir-nasil-calisir. [Erişim Tarihi: 12/11/2020].

[17]“5G Frekans Bantları Nelerdir?,” Elektrikport.com, 26/02/2019. URL: https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/5g-frekans-bantlari-nelerdir/22111. [Erişim Tarihi: 12/11/2020].

[18] ITU, “5G New Radio and System Standardization in 3GPP”, Ginevre July 2017.

[19] Admin and Admin, “5G Nesnelerin İnternetini Nasıl Etkileyecek?,” IEEE Dumlupınar, 05/11/2020. URL: http://ieeedumlupinar.com/2020/11/05/5g-nesnelerin-internetini-nasil-etkileyecek/. [Erişim Tarihi: 13/11/2020].

[20] VF Türkiye, “Efsanelerle VF Sup.net 5G’ yi test ettik,” VF, 6/07/2019. URL: https://www.youtube.com/watch?v=6a7rY9eECPA&ab_channel=VFT%C%BCrkiye. [Erişim Tarihi: 12/11/2020].

[21] https://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g

[22] 3GPP TS 23.401, General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, 2014

[23] 3GPP TR 23.799, Study on Architecture for Next Generation, 2016

[24] Choi Y., Park N., Slice Architecture for 5G Core Network, 2017: IEEE 978-1-5090-4749-9/17, 571-575

[25] ITU-R M.2083, Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, 2015

[26] Pi Z., Khan F., 2011: An Introduction to Millimeter-Wave Mobile Broadband Systems, IEEE Communications Magazine, vol. 49, no. 6, pp. 101-107

[27] Bojkovic Z.S., Bakmaz M.R., Bakmaz M.B., 2015: Research Challenges for 5G Cellular Architecture, IEEE 978-1-4673-7516-0/15, 215-222

[28] Marzetta T.L., 2010: Noncooperative Cellular Wireless With Unlimited Numbers Of Base Station Antennas, IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600

[29] Larsson E., Edfors O., Tufvesson F., Marzetta L., 2014: Massıve Mımo For Next Generatıon Wıreless Systems, Bell Labs, Alcatel-Lucent, USA

[30] Rohde & Schwarz, Millimeter-Wave Beamforming: Antenna Array Design Choices & Characterization

[31] Razavizadeh S.M., Ahn M. and Lee I., 2014: Three-Dimensional Beamforming, IEEE Signal Processing Magazine, 1053-5888, 94-101

[32] Zhang X., Jia M., Chen L., Ma J., 2015: Filtered-OFDM — Enabler for Flexible Waveform in The 5th Generation Cellular Networks, Jing Qiu Chengdu Research & Development Centre, Huawei Technologies Co., Ltd., People’s Republic of China Ottawa Research & Development Centre, Huawei Technologies Canada Co., Ltd., Canada

[33] D. Giusto, A. Iera, G. Morabito, L. Atzori (Eds.). “The Internet of Things”. 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications, 442p. Springer, 2010.

[34] Bassi A, Horn G.Internet of Things in 2020: Roadmap for the future. Internet of Things 27, 2020.

[35] Dni. “National Intelligence Council”. http://www.dni.gov/nic/NIC_home.html (18.04.2016).

[36] Faruk A, Celal Ç, Yunus Emre E. “Biyomedikal uygulamaları için nesnelerin interneti tabanlı veri toplama ve analiz sistemi”. Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, Kapadokya, Nevşehir, 25-27 Eylül 2014.

[37] Beechamresearch. “IoT Sector Map”. http://www.beechamresearch.com/article.aspx?id=4 (04.08.2016).

[38] Muhammed Özhan, “Türk Telekom 5G+ Bilgi Notu: 5G,” Türk Telekom, 28/08/2018. URL: https://www.turktelekom.com.tr/hakkimizda/duyurular/Documents/tt-5g-final-version-03082018.pdf. [Erişim Tarihi: 13/11/2020].

[39] Elektromanyetik Alanların Etkileri, TMMOB EMO, İzmir

[40] ICNIRP, Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Mag netic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Phys., vol. 74, no. 4, pp. 494–522, 1998

[41] 2018/DK-SİD/117, Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası standartlara göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi, Bilgi Teknolojileri Enstitüsü, Ankara

[42] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK)–Mevzuatlar https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=14927&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5

https://www.mevzuat.gov.tr/anasayfa/MevzuatFihristDetayIframe?MevzuatNo=14927&MevzuatTertip=5&MevzuatTur=7

[43] ITU, “5G New Radio and System Standardization in 3GPP”, Ginevre July 2017.

[44] Marzetta T.L., “Massive MIMO: An introduction," Bell Labs Tech. J.,vol. 20, pp. 11-22, Mar. 2015.

[45] Thors B. et.al, 2017: Time-Averaged realistic Maximum Power Levels for the Assessment of radio Frequency Exposure for 5G radio Base Stations Using Massive MIMO, IEEE Access, vol. 5, pp. 19711-19719

[46] ITU-T K-Series Recommendations, 5G technology and human exposure to RF EMF, 2017.

[47] Persia S., Carciofi C., D’Elia S., Suman R., 2018: EMF Evaluations For Future Networks Based On Massive MIMO, IEEE 29th Annual International Symp

[48] Thorsi B., Colombi D., Ying Z., Bolin T., Törnevik C., 2016: Exposure to RF EMF From Array Antennas in 5G Mobile Communication Equipment, IEEE Access, 2169-3536, 7469-7478

[49] ICNIRP, Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Mag netic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Phys., vol. 74, no. 4, pp. 494–522, 1998

[50] Thors B. et.al, 2016: Exposure to RF EMF From Array Antennas in 5G Mobile Communication Equipment, IEEE Access, vol. 4, pp. 7469-7478

[51] Colombi D., Thors B., Törnevik C., 2015: Implications of EMF Exposure Limits on Output Power Levels for 5G Devices Above 6 GHz, IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 14, pp. 1247–1249

[52] Foster K., Colombi D., Thermal Response of Tissue to RF Exposure from Canonical Dipoles at Frequencies for Future Mobile Communication Systems, IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., to be published.

[53] ICNIRP- publications
https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf].

[54] World Health Authority (WHO) electromagnetic fields health

https://www.who.int/health-topics/electromagnetic-fields#tab=tab_1

[55] "5G Explained – What is the EMF?," EMF.
URL: http://www.emfexplained.info/?ID=25916.

[56] Mirion

URL: https://www.mirion.com/learning-center/radiation-safety-basics/what-is-radiation

ÖZGEÇMİŞ: AHMET HALİM KÖMÜRCÜ

EDUCATION

2020 – ongoing	M.Sc.Electrical & Electronic Engineering - Technology Faculty
	Marmara University (MU)
	İstanbul, TURKEY
2004 – 2008	B.Sc. Public Management
	Anatolia University (AU)
	Eskisehir, TURKEY
2003 – 2004	Executive MBA (Management Business Administration)
	International Foreign Trade
	Newport International University (USA)
1992 – 1997	B.Sc. Electrical & Electronic Engineering
	Eastern Mediterranean University (EMU)
	Gazimagosa, TRNC
1991 – 1992	Preparatory School (English)
	Eastern Mediterranean University (EMU)
1985 – 1988	Istanbul Ümraniye High School

WORK EXPERIENCES

May'21 – On going VODAFONE Telecommunication A.Ş.

Regulation Manager in Regulatory Affairs Department

Technology Infrastructure & Operator Relations

- To Ensure internal coordination of mobile & fixed technology infrastructure regulatory issues to regulatory compliance with regulations and strategies & policies.
- To Formulate opinions so that mobile & fixed technology infrastructure are developed in compliance with company requirements, strategies and represented at the appropriate platforms.
- All Operators Relations & end to end interconnection process management. Invoice and debt follow up, Traffic and revenue analysis, Commercial deals, Interconnection strategy & Contract Management based on BTK regulations.

- To Ensure internal coordination of mobile & fixed technology infrastructure regulatory issues to regulatory compliance with regulations and strategies & policies.
- To Formulate opinions so that mobile & fixed technology infrastructure are developed in compliance with company requirements, strategies and represented at the appropriate platforms.
- All Operators Relations & end to end interconnection process management. Invoice and debt follow up, Traffic and revenue analysis, Commercial deals, Interconnection strategy & Contract Management based on BTK regulations
- EMF Management (EMF leader)

Nov'08 – Mar' 21 VODAFONE Telecommunication A.Ş.

Regulation Manager in Regulatory Affairs Department

- **Mobile Technical Regulation since 2008**
- **Fixed Services Regulation since 2012**
- **EMF Management (EMF Leader) since 2006**

MOBILE TECHNICAL REGULATORY AFFAIRS SINCE 2009

- Ensure internal coordination of technological&technical regulatory issues to comply with technical regulations.
- Formulate opinions so that technical regulations are developed in compliance and regulatory strategies with company requirements and represent at the appropriate platforms.
- Follow up execution of technical regulations that are in effect and published by BTK and (MoT) within the company. Support/Coordinate Technology departments so that related functions produce outputs required by regulations.

EMF MANAGEMENT (EMF LEADER) SINCE 2007

- Lead, develop and support the adoption of effective EMF compliance solutions at industry and Vodafone/Partner level for base stations and terminals.
- Establish an industry leader in EMF/MMH area by actively influencing government and industry associations. Develop EMF strategies and activities,engagement & communications.
- Provide expert advice on EMF safety issues near transmitting antennas and referred public/stakeholder enquires

FIXED SERVICES REGULATORY AFFAIRS SINCE 2012

- The governmental organizations mainly National regulatory Authority (NRA) relations and Competition Board etc. and other operators related to Fixed Line Business. Managing official communication with the Authority Bodies including strategy
- Coordinating related departments to assure compliance with the regulatory obligations
- Representing company in NGO's activities and working groups.
- To implement the regulatory policy and strategies within the company
- To manage relationship either technical or contractual, including interconnection agreements with the other operators

Aug'05 – Nov'08 VODAFONE Telecommunication

Technology Governance (CTO Office)

Mar'04 – Aug'05 TELSİM Mobil Telecommunication

Technical Expert in Technology Department

- Direct report to Deputy General Manager (CTO),
- Following special projects given by (CTO), supervising and reporting them,
- To pursue of network performance and problems, so warning concerned necessitate departments&CTO
- Make the assistance and recommendation all about technical procedure, issues of Technology Departments.
- Coordinating related departments to assure compliance with the all mobile technical regulations and fixed services regulatory obligations
- Support/Coordinate Technology departments so that related functions produce outputs required by regulations.
- Support /implement public policy & strategies initiatives (ICT, mobile technical). To collect information and provide technical support to policy engagement activities
- Regulatory affairs & governance and compliance responsible of Technology Department.
- NGO's relations and represented relevant to Technology issues.
- Representative BCM (Business Continuity Management), Health & Safety responsible of Technology Department. (Health & Safety committee member)
- EMF (Electro Magnetic Field) Leader in Turkey.
- Organize the relations with other departments and Technology Department.
- To prepared technical reports regularly (weekly and monthly) for Technical Operations
- To give lecture some public associations and universities organizations about GSM technologies and structure represent.

Aug'00 - Mar'04 TELSİM Mobil Telecommunication

BSS Radio Frequency & Network Planning Department,

RF Network Planning & Optimization Expert Engineer

- BSC/BSS planning and optimization performing cutover. Cell coverage and capacity planning.(indoor and outdoor). Performing RF survey and transmission survey. The area is searched and examined for deciding site location together with evaluation of drive test results and stats. Configuration, antenna type, azimuth type, height, place and mechanical tilt angles are planned. Joining site survey (installation survey). Planning in building coverage and fine tuning, parameter planning, repeater planning. We join site surveys together with site surveyor. According to the possible subscriber potential in whole area antenna locations are decided. Frequency and parameter planning. Optimisation/Fine Tuning

EXPERIENCES

- University Lecturer: Electrical & Electronic Engineering at Techn. Faculty of Marmara University (since 2016)

- To lecture an academic education programme relevant to infrastructure, regulation and telco bussines of telecommunication sector in Kadir Has University (2011-2012-2013), Bilgi University (2017)
- Istanbul Technical University (ITU / Future Lab) Graduate Thesis Project Consultancy: With 5G, more base stations are required due to the low propagation result from the use of the next high frequency. The higher frequencies are less diffuse to the human body than the 4G frequencies. However, since high frequency emissions reduce the coverage range, it is a project that is designed to measure and model the effect of the human body on the electromagnetic field, especially in closed areas.
- To train new employee of BTK) (GSM technology, regulation & forensic infrastructure of mobile communication, EMF) (between 2006 to 2018)
- Certificate of Executive Project Management, Project Management Institute, 2006
- Certificate of Information Security Internal Auditor, by BUREAU VERITAS, 2010

  Information Security ISO 27001 Internal Auditor in VODAFONE

- Certificate of Business Continuity Management BS 25999 Internal Auditor, by BSI, 2011
  Business Continuity Management BS 25999 Internal Auditor in VODAFONE
- Internal Trainer in Vodafone (22 years)
- Vodafone International EMF group member as Turkey EMF Leader
- To attended the EMF Conference: 2019 Budapest, 2018 Lisbon, 2017 London, 2015 Koln, 2014 Madrid, 2013 Amsterdam, 2012 Milano, 2011 London, 2010 Dublin, 2009 London, 2008 London, 2007 Budapest, 2007 Newbury
- Member of RF Health Committee at (BTK)
- Member of Telkoder as Vodafone Net
- Member of BTK standardisation working groups
- ITU member of Vodafone Net
- All orientation for new employee at Vodafone and specific training (Telecommunication sector, Mobile & Fixed technology, regulation& forensic infrastructure of mobile communication, EMF)
- To prepared first EMF e-learning in Turkey.