

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**



**ELEKTROMANYETİK İŞİNİM VE İNSAN SAĞLIĞINA
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OGÜN BAYRAM

BALIKESİR, OCAK - 2017

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



ELEKTROMANYETİK IŞINIM VE İNSAN SAĞLIĞINA
ETKİLERİ

YÜKSEK LISANS TEZİ

OGÜN BAYRAM

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. BAYRAM ESEN (Tez Danışmanı)

Doç. Dr. UĞUR YALÇIN

Yrd. Doç. Dr. SEYİT AHMET SİS

BALIKESİR, OCAK - 2017

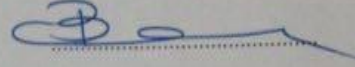
KABUL VE ONAY SAYFASI

Ogün BAYRAM tarafından hazırlanan "ELEKTROMANYETİK İŞİNİM VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 09.01.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

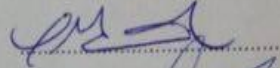
Jüri Üyeleri

İmza


Danışman
Yrd. Doç. Bayram ESEN



Üye
Doç. Dr. Uğur YALÇIN



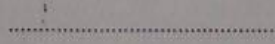
Üye
Yrd. Doç. Dr. SEYİT AHMET SİS



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR



ÖZET

ELEKTROMANYETİK İŞİNİM İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OGÜN BAYRAM
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. BAYRAM ESEN)
BALIKESİR, OCAK - 2017

Elektromanyetik alanlar ve insanlar üzerindeki etkileri günümüzde çok tartışılan araştırma konularının başında gelmektedir. Dünyanın ilgisini çeken elektromanyetizma, teknolojinin gelişmesiyle daha da rağbet gören bir konu haline gelmiştir. Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri araştırmalarca kanıtlanmış düzeyde olmasada yeni çalışmalara ihtiyaç duyulan bir alandır. Bu çalışmada gelişen teknolojiyle artan iletişim ihtiyacını karşılayan baz istasyonları, yaptıkları ışınım seviyesi açısından incelenmektedir. Bu bağlamda Balıkesir ili sınırlarındaki baz istasyonlarının çevreye yaydığı elektrik alan değerleri Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından onaylı cihazlarla ölçüldü. Ölçümler sonucunda elde edilen değerler ulusal ve uluslararası elektromanyetik alan maruziyet sınır değerleriyle karşılaştırıldı ve sonuçları bu çalışmada detaylı olarak raporlanmaktadır. Ölçüm kapsamında denetlenen tüm baz istasyonlarının çalışmasında hiç bir sakınca görülmediği tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Elektromanyetik Radyasyon, Baz İstasyonu, Cep Telefonu, İnsan Sağlığı.

ANAHTAR KELİMELER:

ABSTRACT

**ELECTROMAGNETIC RADIATION EFFECTS ON HUMAN HEALTH
M.SC. THESIS
OGÜN BAYRAM
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. BAYRAM ESEN)
BALIKESİR, JANUARY 2017**

Today, electromagnetic fields and its effects on human is one of the most discussed research subjects. Electromagnetism which attracts attention of the world has become a more popular subject with developing of the technology. The effects of the electromagnetic fields on the human health have not been yet on proven level in investigations and it is an area that new researches is needed to be done. The increase with developing of the technology, base stations which satisfy the communication needs are investigated in this study. In this context, the electric field which propagates from base stations in the vicinity of Balıkesir was measured with an approved device supplied by Information and Communication Technologies Authority (ICTA). The values obtained via measurements realized to be under national boundary limits settled by ICTA. In the scope of measurement, any negative situation has not been detected for all the base stations controlled.

KEYWORDS: Electromagnetic Radiation, Base Station, Mobile Phone, Human Health

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ABSTRACT	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL ELEKTROMANYETİK KAVRAMLAR	4
2.1 Elektrik ve Manyetik Alanlar	4
2.1.1 Elektrik Alan.....	4
2.1.2 Manyetik Alan	6
2.1.3 Elektromanyetik Alan	7
2.1.4 Doğal Elektromanyetik Alanlar	8
2.1.5 Yapay Elektromanyetik Alanlar	8
2.2 Elektromanyetik Radyasyon.....	9
2.2.1 İyonlaştırıcı Radyasyon	10
2.2.2 İyonlaştırıcı Olamayan Radyasyon.....	11
2.3 Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri	12
2.3.1 Elektromanyetik Dalga Çeşitleri.....	13
2.3.1.1 Radyo Dalgaları	13
2.3.1.2 Mikrodalgalar	13
2.3.1.3 İnfrared Dalgalar	13
2.3.1.4 Görünür Işık	13
2.3.1.5 Mor Ötesi Işıklar	13
2.3.1.6 Kızıl ötesi Işıklar	14
2.3.1.7 Ultraviyole Işıklar	14
2.3.1.8 X Işıkları.....	14
2.3.1.9 Gama Işıkları.....	14
2.3.2 Soğurulma.....	15
2.4 Polizasyon ve Sar Değeri	15
2.5 İnsan Vücudunda Soğurulma	17
3. ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ	21
3.1 Elektromanyetik Alanların Olumlu Etkileri	21
3.2 Elektromanyetik Alanların Olumsuz Etkileri.....	23
3.2.1 EMA'nın etkilerinin günümüze kadar keşfi	23
3.2.2 EMA & Kanser	23
3.2.3 EMA ve Sinir Sistemi	24
3.3 Elektromanyetik Radyasyondan Korunma Yolları	24
3.4 Uluslararası Standartlar ve Limit Değerler.....	24

4. BAZ İSTASYONLARI VE ELEKTRİK ALAN ÖLÇÜMLERİ.....	29
4.1 Baz İstasyonları	29
4.2 Çalışma Kapsamı.....	33
4.3 Balıkesir İli Baz istasyonları Denetlemeleri.....	35
4.4 Baz İstasyonu Ölçümleri	36
4.4.1 Balıkesir Küçük Sanayi Baz İstasyonu	36
4.4.2 Balıkesir Toki Baz istasyonu	40
4.4.3 Balıkesir Doğumevi Baz İstasyonu.....	44
4.4.4 Burhaniye Ören Baz İstasyonu	47
4.4.5 Sarımsaklı Sahili Baz İstasyonu	49
4.4.6 Balıkesir Pamukçu Baz İstasyonu.....	50
4.4.7 Balıkesir Selimiye Köyü Baz İstasyonu	51
4.4.8 Balıkesir Yayılda Alışveriş Merkezi Baz İstasyonu	52
4.4.9 Ayvalık Alibey Adası Baz İstasyonu	55
4.5 Elektrik Alan Ölçüm Cihazı	58
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	60
6. KAYNAKLAR.....	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Gauss yüzeyinden çıkan elektrik akı	5
Şekil 2.2: Elektrik alan çizgilerinin yükler arası gösterimi	6
Şekil 2.3: Sağ el kuralı ile manyetik alan vektörelliği.....	7
Şekil 2.4: Elektromanyetik tayf' ta dalgaların gösterimi.....	9
Şekil 2.5: İvmeli hareket eden parçacığın çevresine yaydığı dalgalar.....	12
Şekil 2.6: 15 dakika telefonda görüşme yapan birinin termal kameradaki değişimi	19
Şekil 2.7: Frekans aralıklarında insan vücudundaki termal değişim	20
Şekil 3.1: Düşük frekanslı ema cihazların kemiklerin kaynamasında kullanılışı	22
Şekil 4.1: Baz İstasyonun hücresel yapılara ayrılması	30
Şekil 4.2: Baz istasyonu anten ve linkleri.....	31
Şekil 4.3: Anten güvenlik mesafeleri.....	32
Şekil 4.4: e-Devlet Sistemi üzerinden baz istasyonu incelemesi.....	34
Şekil 4.5: Balıkesir de bir operatöre ait büyük güçteki baz istasyonları	36
Şekil 4.6: Balıkesir küçük sanayi baz istasyonu	37
Şekil 4.7: Mevcut baz istasyon revizyonu uygulanan 4.sektör anteni	38
Şekil 4.8: Mevcut antenin bakış açısı	39
Şekil 4.9: Küçük sanayi baz istasyonu projesi çizimi	40
Şekil 4.10: Balıkesir toki baz istasyonu antenleri.....	41
Şekil 4.11: Balıkesir toki baz istasyonu 1. sektör bakış alanı.....	42
Şekil 4.12: Balıkesir toki baz istasyonu 2. sektör bakış alanı.....	42
Şekil 4.13: Balıkesir toki baz istasyonu 3. sektör bakış alanı.....	43
Şekil 4.14: Balıkesir doğumevi baz istasyonu antenleri.....	45
Şekil 4.15: Burhaniye ören baz istasyonu.....	47
Şekil 4.16: Sarımsaklı baz istasyonu gizleme anten	49
Şekil 4.17: Yaylada avm sinema girişi anteni	53
Şekil 4.18: Yaylada avm migros giriş anteni.....	53
Şekil 4.19: Yaylada avm teknosa giriş anteni.....	54
Şekil 4.20: Ayvalık alibey adası baz istasyonu	56
Şekil 4.21: Narda emr-300 cihazı ve p/n2244/90.73 tipli prob	58
Şekil 5.1: Balıkesir ilinde bazı baz istasyonlarını gizleme şekilleri	60
Şekil 5.2: Balıkesir ilinde bazı baz istasyonlarını gizleme şekilleri	61

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Elektromanyetik dalgaların sınıflandırılması	10
Tablo 2.2 : GSM haberleşme frekanslarında insan vücudunun dielektrik ve elektrik katsayıları.....	18
Tablo 2.3: Düşük frekanslarda insan uzuvlarındaki güç soğurulması (watt)...	18
Tablo 2.4: Yüksek frekansta insan uzuvlarındaki güç soğurulması (watt) .	19
Tablo 3.1: Mecburi maruziyet için elektromanyetik limit değerleri (ICNIRP).....	25
Tablo 3.2: Halk maruziyet için elektromanyetik limit değerleri (ICNIRP) ...	26
Tablo 3.3: Ortam ve tek cihaz için belirlenen sınır değerler (BTK)	27
Tablo 3.4: Türkiye’deki 3 operatörün çalıştıkları frekanslardaki sınır değerleri (BTK).....	27
Tablo 3.5: İsviçre’ de uygulanmakta olan sınır değerleri.....	27
Tablo 3.6: Bazı Ülkelerin GSM İçin kabul ettikleri sınır değerleri	28
Tablo 4.1: Farklı güçlerdeki güvenlik mesafeleri	32
Tablo 4.2: Balıkesir de belirlenen ölçüm noktalarındaki elektrik alan değerleri	35
Tablo 4.3: Küçük sanayi baz istasyonu ölçüm sonuçları	39
Tablo 4.4: Balıkesir toki baz istasyonu Anten özellikleri	41
Tablo 4.5: Balıkesir toki baz istasyonu sektör 1 ölçümleri	43
Tablo 4.6: Balıkesir toki baz istasyonu sektör 2 ölçümleri	44
Tablo 4.7: Balıkesir toki baz istasyonu sektör 3 ölçümleri	44
Tablo 4.8: Balıkesir doğumevi baz istasyonu anten özellikleri	45
Tablo 4.9: Balıkesir doğumevi baz istasyonu 1.sektör ölçümleri	46
Tablo 4.10: Balıkesir doğumevi baz istasyonu 2.sektör ölçümleri	46
Tablo 4.11: Balıkesir doğumevi baz istasyonu 3.sektör ölçümleri	46
Tablo 4.12: Burhaniye ören baz İstasyonu anten özellikleri.....	48
Tablo 4.13: Burhaniye ören baz istasyonu 1.sektör ölçümleri.....	48
Tablo 4.14: Burhaniye ören baz istasyonu 2. sektör ölçümleri.....	48
Tablo 4.15: Burhaniye ören baz istasyonu 3. sektör ölçümleri.....	49
Tablo 4.16: Sarımsaklı sahili baz istasyonu ölçümleri.....	50
Tablo 4.17: Balıkesir pamukçu baz istasyonu ölçümleri	51
Tablo 4.18: Balıkesir selimiye köyü baz istasyonu ölçümleri	52
Tablo 4.19: Yaylada avm revizyona giren antenlerin özellikleri	54
Tablo 4.20: Balıkesir yaylada avm baz istasyonu ölçümleri.....	55
Tablo 4.21: Ayvalık alibey adası baz istasyonu anten özellikleri.....	56
Tablo 4.22: Ayvalık alibey adası baz istasyonu ölçümleri.....	57
Tablo 4.23: Narda EMR-300 cihazı ve P/N2244/90.73 tipli prob özellikleri ..	59

SEMBOL LİSTESİ

A	: Amper
ANSI	: American National Standards Institute
B	: Manyetik Akı Yoğunluğu
BBB	: Blood-Brain Barrier
BM	: Birleşmiş Milletler
c	: Işık Hızı ($3 \cdot 10^8$ m/s)
BTK	: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
DNA	: Deoksiribonükleik asit
EEG	: Elektroensefalografi
EKG	: Elektrokardiyogram
ELF	: Extremely Low Frequency
EMA	: Elektromanyetik Alan
EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk
EMD	: Elektromanyetik Dalga
ESA	: European Space Agency
EM	: Elektromanyetik Radyasyon
eV	: Elektronvolt
f	: Frekans (Hz)
FCC	: Federal Haberleşme Komisyonu
G	: Gauss
Gy	: Gray
h	: Planck Sabiti
H	: Manyetik Alan
Hz	: Hertz
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System for Mobile
ICNIPR	: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
ICRP	: Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu
ILO	: International Labour Organization
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
IrLAN	: Infrared Local Area Networks
IRLMP	: Infrared Link Management Protocol
R	: Röntgen
Rad	: Radyasyon Emilim Dozu
RF	: Radyo Frekans
RFR	: Radyo Frekans Radyasyonu
S	: Güç Yoğunluğu (W/m ²)
SAR	: Specific Absorption Rate (W/Kg)
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
Wb	: Weber
WHO	: World Health Organization
σ	: Elektriksel İletkenlik (C ² /Nm ²)
ϵ	: Bağlı Elektriksel Geçirgenlik
λ	: Dalga Boyu (m)
μ	: Ortamın Manyetik Geçirgenliği

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana her fırsatta desteğini esirgemeyen başta danışman hocam Yrd. Doc. Dr. BAYRAM ESEN olmak üzere Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin tüm hocalarına en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez kapsamında teorik ve pratik çalışmalarında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, baz istasyonları ölçümlerinde tüm teçhizatı kullanmama izin veren saygı değer büyüğüm Yük. Haberleşme Mühendisi Erdal UZUN'a teşekkür ederim.

Son olarak da bugünlere gelmemde bana en büyük desteği gösteren ve her koşulda yanımda olan babam Hasan BAYRAM, annem Meryem BAYRAM ve kardeşim Onur BAYRAM'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Balıkesir 2017

1. GİRİŞ

Elektromanyetik Radyasyon (EMR), doğada farklı şekillerde bizle yaşayan bir unsur haline gelmiştir. Hayatımızı sürdürdüğümüz ortamlarda sürekli bir elektromanyetik dalgaya maruz kalıyoruz. Bu bazen bir yüksek gerilim hattının altından geçerken bazen de evimizin yakınlarındaki baz istasyonlarından gelen ışımayla oluşur. Bununla beraber sürekli yanında taşıdığımız cep telefonları veya şuan bulunduğumuz odadaki tasarruflu ampul bile elektromanyetik ışınım yapmaktadır. Kısacası evrende nereye gidersek gidelim elektromanyetik dalgalar bizi yalnız bırakmayacaktır [1].

Alışveriş merkezlerindeki tavanlarda karşımıza çıkan indoor baz antenler zamanla unutulmuş olsalar da oluşturdukları ışıma etkisini hiç kaybetmeden yayılım göstermektedir [1]. Teknolojinin gelişim göstermesiyle çevremizdeki elektrikle çalışan cihazların sayısında hızlı bir artış gözlemlenmiştir. Yaşamı kolaylaştırmak amaçlı kullandığımız tüm elektrikli cihazlar, bunların çalışmasını sağlayan alçak, orta ve yüksek gerilim hatları, trafolar, mikrodalga fırınlardan tutulımda Dünyamızı aydınlatan Güneş'e kadar her şey elektromanyetik alan kaynağıdır. Dolayısıyla bu kaynakların hepsi etrafımızı saran elektromanyetik radyasyona katkıda bulunmaktadır. Oluşan bu çevresel kirliliğin hangi boyutlarda olduğu ve insanlar üzerinde nasıl etkiler oluşturduğu konuları birçok bilimsel çalışmaya kaynaklık etmiştir. Düşük frekansdan tutulımda yüksek frekanslara tüm elektromanyetik alan kirliliklerini ölçebilmek için çok sayıda bilimsel çalışmalar yapılmıştır [2].

Tüm dünyayı saran kablosuz iletişim sistemleri günlük hayatımızın her anında bize etki etmektedir. Tüm insanlık elektromanyetik enerji denizinin içinde yaşamını sürdürmektedir. Gezegenimiz uçtan uca elektromanyetik radyasyon adlı bir virüsün etkisi altında. Bu virüse, kalın maruziyet süresi ve şiddetine göre; baş dönmesinden, vücudumuzun biyolojik yapısında değişikliğe kadar etki edebilmektedir. Son derece zararlı olan bu virüsün etkileri ölümle bile sonuçlanabilir. İnsan gözünün algılayamadığı elektromanyetik radyasyon, duvarlardan hatta kurşundan bile geçebilmekte, her an yanbaşımızda bizimle varlığını sürdürmektedir.

Tüm olumsuz etkilerine karşın elektromanyetik radyasyonu kontrol etme gücü bizim elimizde. Tek bir tuşla bunu yapabiliriz. Cep telefonlarımızla gereksiz yere konuşmayarak, bir başlangıç oluşturabiliriz. Cep telefonlarını kullanma bedeli yalnız telekomünikasyon şirketlerine ödenen para değil aynı zamanda sağlığımız bunun diyeti olabilir [1].

Elektrik enerjisiyle çalışan tüm cihazlar elektromanyetik alan oluşturduğu bilinmektedir. Elektromanyetik alanların içerisine giren elektromanyetik alan kaynakları birbirlerinden olumlu veya olumsuz etkilenmektedir. İnsan vücudu da ortalama 60000 km uzunluğunda sinirsel iletişim ağı bulunmaktadır. Bilgilerin iletilmesi, organlar arasında etkileşimin sağlanması bu elektriksel iletişim ağıyla sağlanmaktadır. İnsan vücudunun kendine has elektromanyetik yapısı dışarıdan etki edecek elektromanyetik alanlarca etkilenebileceği hafife alınmaz. Elektromanyetik alanların biyolojik sistemler üzerindeki etkilerini Biyomedikal Mühendisliği, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Biyofizik Ana Bilim Dalı gibi farklı disiplinler görüş alış verişi yaparak bu etkileri incelemektedir [3].

Yapılan çalışmalar elektromanyetik alanların olumsuz etkilerini gözler önüne sermiştir. Kobaylar üzerinde çekilen Elektrokardiyografiler (EKG) sırasında cep telefonu ile oluşturulan sinyallerin EKG verileri üzerinde değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Elektrik hattına girmiş bir harmonik gibi sinyali bozucu etki yaratmıştır [4].

Kısacası elektromanyetik alanlar kanser, davranış değişiklikleri, hafıza zayıflığı, parkinson ve alzheimer hastalıklarının artmasının yanında, depresyon gibi psikolojik rahatsızlıkların artışına neden olduğu bilinmektedir. Elektrik enerjisiyle çalışan tüm cihazların oluşturdukları elektromanyetik alanlar birbirlerinden farklıdır. Bu cihazlardan ne kadar uzakta olursak, etkileri o kadar düşük olur. [5].

Bu tez çalışmasında genel olarak elektromanyetik alanların insanlar üzerindeki etkileri incelendi. Elektromanyetik genel kavramlardan bahsettikten sonra son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar ele alındı. Bu bilimsel çalışmalar ışığında yaşadığımız çevrede elektromanyetik radyasyon oluşturabilecek cihazların başında baz istasyonlarının geldiği düşünüldü. Baz istasyonlarının çalışma yapıları incelendi ve operatörlerin nasıl bir çalışma yaptıkları hakkında bilgi verildi. GSM (Global

System for Mobile Communications) haberleşme sistemleri 100 kHz - 3 GHz frekans band aralığında yayın yapmaktadır. Bu frekans band aralığının insanlar üzerindeki etkileri incelendi. Elektromanyetik alan sınır değerleriyle ilgili çalışma yapan kurumlar tanıtıldı ve ülkemizde bu sınır değerlerinin takibini yapan BTK'nın (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu) çalışmaları hakkında bilgiler verildi.

2014 yılında büyükşehir olan Balıkesirde, iletişim ağının genişlemesi ve daha kaliteli olabilmesi için daha çok baz istasyonuna gerek duyulmuştur. Yeni baz istasyonları ile genişleyen iletişim ağı, elektromanyetik radyasyonun seviyesini de arttırmıştır.

Tez kapsamında Balıkesir il sınırlarındaki baz istasyonlarında BTK onaylı cihazlarla elektrik alan ölçümleri gerçekleştirildi. Ölçümlerin nasıl yapıldığı anlatıldı. Baz istasyonlarındaki her revizyonda, ölçümlerin yenilendiği ve yeni ölçülen tüm değerlerin BTK onayından geçmesi gerektiği belirtildi. Bu ölçümlerden elde edilen değerler, ulusal ve uluslararası sınır değerlerle karşılaştırıldı. Yapılan ölçümler tablo haline getirildikten sonra, halk maruziyeti oluşturup oluşturmadığı incelendi. Elektromanyetik radyasyonun etkilerinden korunmak için bireysel ve kurumsal bazda öneriler sunulmuştur.

2. TEMEL ELEKTROMANYETİK KAVRAMLAR

2.1 Elektrik ve Manyetik Alanlar

Sürekli bir şekilde doğal veya yapay kaynaklı elektrik ve manyetik alanların etkisi altında yaşıyoruz. Günlük yaşanan çoğu olay, şimşek veya yıldırımlar doğal elektrik alanları sayesinde oluşmaktadır, ortamların aydınlatılması için üretilen floresan lambalar ise yapay elektrik alanların sayesinde çalışabilmektedir. Dünyanın iç gücünü ifade eden doğal manyetik alanların varlığını tanımlayabilmek için bir pusulanın kuzey yönü Dünyanın kuzeyini göstermesi ile kanıtlanabilir. Ses sitemlerindeki mıknatıslanma ile kullanılan yapay manyetik alan hoparlörü titreştirerek ses oluşumunu gerçekleştirmektedir. Elektrik akımı, elektrik alan ve manyetik alan birbirleriyle 90 dereceyle çakışık bir şekilde birlikte hareketinden oluşan kavramlardır. Elektromanyetik alanlar elektrik alan ve manyetik alanın birleşiminden oluşan alanlardır.

2.1.1 Elektrik Alan

Coulomb, elektriksel iki yükün aralarında bir kuvvet oluşturduğunu ve bu kuvvetin onu oluşturan yüklerin büyüklüklerinin çarpımı ile doğru, yüklerin birbirlerine olan uzaklıklarının karesi ile ters orantılı olduğunu bulmuştur.

Bu ilişkiyi

$$\mathbf{F} = k \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \quad (2.1)$$

ifadesiyle tanımlanmıştır. q_1 ve q_2 yükleri, d yükler arasındaki mesafeyi ve “ k ” Coulomb sabitini ifade eder. Coulomb sabiti ise (2.2) deki formülle elde edilir.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9875 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \quad (2.2)$$

ϵ_0 , boşluğun dielektrik geçirgenlik sabitinin değeri, $8.8541 \cdot 10^{-12}$ 'dir.

Bir noktada sabitleştirilmiş pozitif veya negatif yüklü cismi etki altına alan elektriksel kuvvet vardır ve bu noktada elektrik alan oluşur. Elektrik alan, şiddeti ve doğrultusu olan vektörel bir büyüklüktür. Elektrik alan şiddetinin birimi volt/metre (V/m)'dir. Bu \mathbf{F} alanındaki, elektrik alanın büyüklüğü bulunurken (2.3) eşitliği kullanılır.

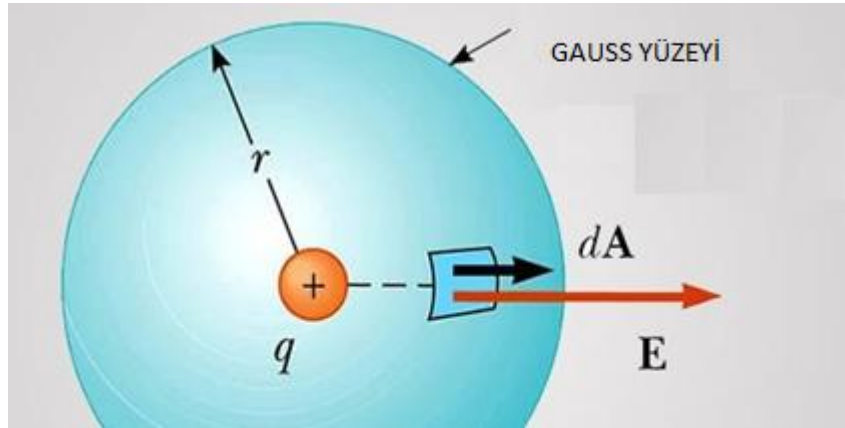
$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{Q} \text{ (V/m)} \quad (2.3)$$

Coulomb yasasının kullanımına bir alternatif olarak Gauss yasası da kullanılmaya başlanmıştır. Gauss yasası kullanılarak, Coulomb yasasındaki elektrik yükü ile elektrik alan arasındaki ilişkiye daha anlaşılır bir yorum katılmıştır. Kapalı bir yüzeyden dışarıya akan elektriksel akı ile yüzeyin içerisinde kalan elektriksel yük arasındaki bağıntı difransiyel formda (3.4) teki gibidir.

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2.4)$$

Elektrik alan ve ortamın dielektrik katsayısının çarpımı ile elektrik akı yoğunluğu hesaplanır. Elektrik akı yoğunluğu şu şekilde gösterilir.

$$\mathbf{D} = \mathbf{E} \epsilon \text{ (C/m}^2\text{)} \quad (2.5)$$



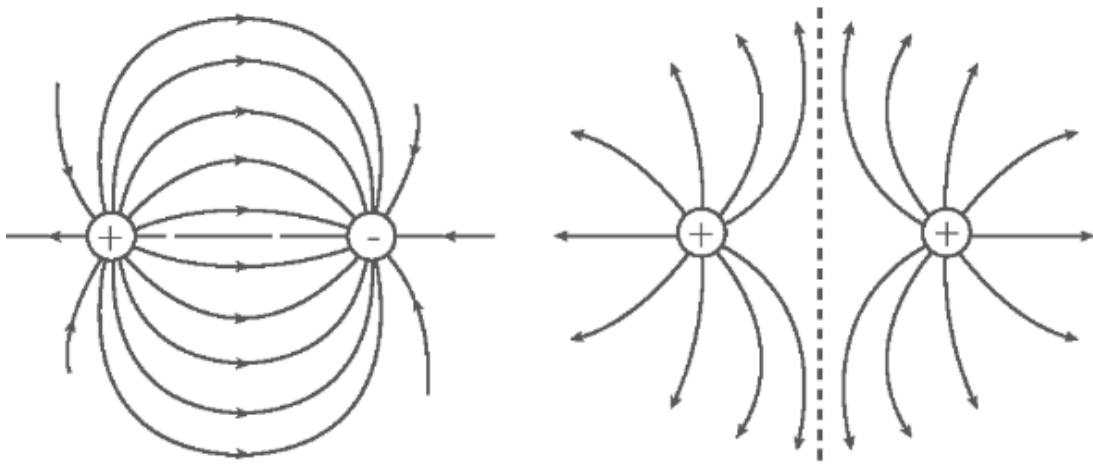
Şekil 2.1: Gauss yüzeyinden çıkan elektrik akı

Elektrik alanına giren iletken bir malzemede veya canlı bir dokuda, elektriksel alan kuvvetinden dolayı bir akım oluşur. Bu akım yoğunluğu (2.6)'daki formüldeki gibi ortam iletkenliği (σ) ile doğru orantılıdır.

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \text{ (A/m}^2\text{)} \quad (2.6)$$

(2.6)'daki formüldeki gibi ortam iletkenliği (σ) ile doğru orantılıdır.

Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, elektrik alan çizgileri pozitif yükten negatif yüke doğru hareket eder bir gösterimdedir [16].



Şekil 2.2: Elektrik alan çizgilerinin yükler arası gösterimi

2.1.2 Manyetik Alan

Manyetik alan, elektrik alandan farklı olarak durağan yükler tarafından değil hareketli yüklerin oluşturduğu, elektrik akımının, sonucu bir alandır. Manyetik alan genel olarak hareket eden elektrik yüküne etki eden Lorentz kuvveti ile tanımlanır. Akım taşıyan bir iletken, etrafında bir manyetik alan oluşturur.

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2.7)$$

v hızı ile hareket eden q yüklü parçacığın B manyetik akı yoğunluğuyla üzerinde oluşan manyetik kuvvet (2.7) eşliğindeki \mathbf{F} 'te gösterilmiştir. Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür. Bu büyüklük akım taşıyan bir telde sağ el kuralıyla Şekil 2.3 'te açıklanmıştır.



Şekil 2.3: Sağ el kuralı ile manyetik alan vektörelliği

Manyetik akı yoğunluğu, çeşitli ortamlarda farklı manyetik alan şiddetlerini oluşturur.

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H} \text{ (weber/m}^2\text{)} \quad (2.8)$$

2.1.3 Elektromanyetik Alan

Elektrik alan ve manyetik alanlar arasında sıkı sıkıya bir ilişki vardır. Bu ilişki tam manasıyla Maxwell denklemleriyle açıklanmaktadır. Lorentz yasasıyla birlikte elektrodinamik ve elektrik devrelerine kaynaklık eden diferansiyel denklemlerden oluşur. Elektromanyetik alanlar elektrik ve haberleşme teknolojilerinin temelini oluşturur. Maxwell denklemleri elektrik ve manyetik alanların birbirileri, yükler ve akımlar tarafından nasıl değiştiğini ve nasıl ortaya çıktığını açıklamaktadır.

Maxwell denklemleri iki temel kural üstüne kurulmuştur.

- Zamanla değişen manyetik alan, bir elektrik alan oluşturmaktadır.
- Zamana değişen elektrik alan, bir manyetik alan oluşturmaktadır.

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2.9)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.10)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.11)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2.12)$$

Zamanla değişkenlik gösteren kaynakların oluşturduğu elektrik ve manyetik alanlar dalga formunda bir enerji yaymaktadır. Yayılan elektriksel enerjiye elektromanyetik ışırma (radyasyon) denir.

2.1.4 Doğal Elektromanyetik Alanlar

İnsanlar tarafından üretilen elektrik enerjisinden doğan elektromanyetik alanlar dışındaki tüm elektromanyetik alanlar, doğal elektromanyetik alanlar olarak adlandırılır. Doğal elektromanyetik alanlar canlı hayatının devamlılığını sağlamak için evrenin varoluşundan beri etkisini hissettirmektedir. Dünyanın yerküre merkezinde yarı sıvı ferromanyetik bir çekirdek vardır. Bu çekirdek sürekli statik jeomanyetik alan yaymaktadır. Tüm tabiat 40 μT değerlerinde elektromanyetik alan yayan büyük bir mıknatısın üzerinde yaşamaktadır. Yıldırımın oluşumunda elektrik alan şiddeti kısa süreliğine 40 kV/m'ye kadar çıkmaktadır. Güneşten Dünyamıza gelen elektromanyetik ışırma saniyede m^2 'ye 1400 Joule enerji yaymaktadır [1].

2.1.5 Yapay Elektromanyetik Alanlar

İnsanların etkisiyle oluşın elektromanyetik alanlar, yapay elektromanyetik alanlar olarak adlandırılmaktadır. Elektrik ileten veya elektrikle çalışan her şey yapay bir elektromanyetik alan kaynağıdır. Günlük yaşamımızı, çoğu kez elektrik cihazlarının yanında uzun süre kalmakla ya da yüksek gerilim hattının altında bulunmakla geçiririz. Belki de durakta beklerken tam karşımızda bir ağaç yada heykel, reklam panosu içine kamufle edilmiş şekilde bir baz istasyonu antenleri tarafından farkına varmadan yapay elektromanyetik alanların etkisi altında kalmaktayız [1].

2.2 Elektromanyetik Radyasyon

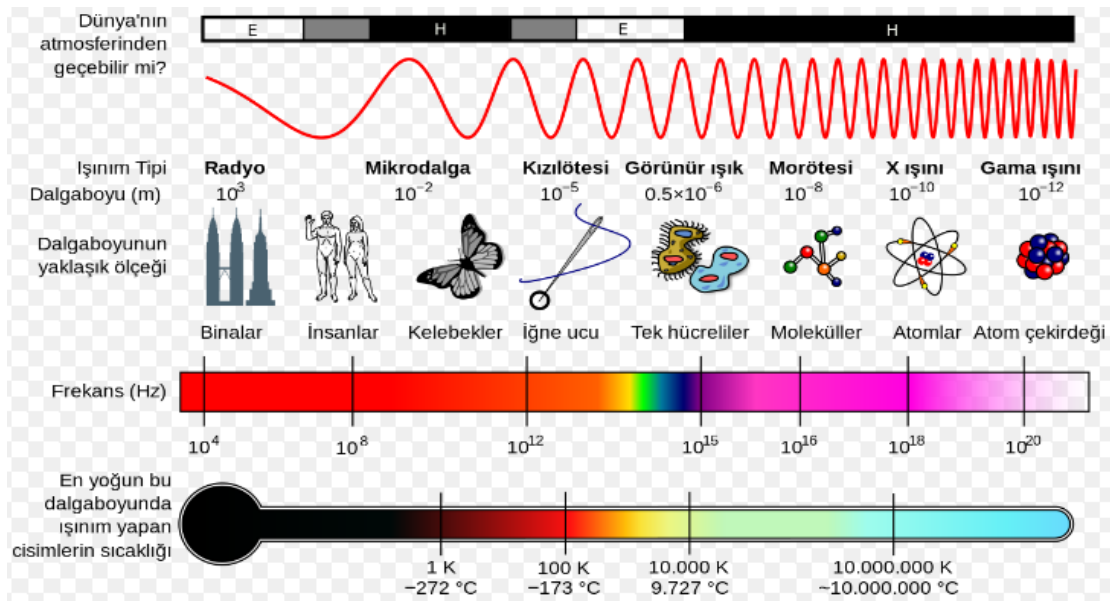
Elektromanyetik radyasyon, nesnelere ve insan vücuduna nüfuz eden dalgalar veya parçacık şeklinde hareket eden enerji yayılımı ya da iletimidir. Elektromanyetik radyasyon maddedeki etkileşimine göre iyonlaştırıcı (Ionizing Radiation) ve iyonlaştırmayan (Non-Ionizing Radiation) şeklinde iki kavram olarak adlandırılmaktadır. İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon atomaltı moleküllerden elektronları koparabilir, iyonlaştırmayan elektromanyetik radyasyon da moleküler bağlardan elektron koparmaya yetecek enerjiye sahip değildir. Hücrelerde ve dokularda elektrik akımı indüklenmesiyle, ısınma ve kimyasal etkileşime dayalı biyolojik değişimlere sebep olduğu bilinmektedir.

Elektromanyetik alanlar dalga şeklinde hareket ettiğinden dolayı dalga boyu (λ) ve dalga frekansı (f) değişim göstermektedir [12].

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{m}) \quad (2.13)$$

Dalga boyu ile değişen elektromanyetik dalga enerjisi (2.14)'teki hesaplanmaktadır. Dalga boylarıyla adlandırılan dalgalar Şekil 2.4'te verilmiştir [12].

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{eV}) \quad (2.14)$$



Şekil 2.4: Elektromanyetik tayf ta dalgaların gösterimi

Kısa dalga, yüksek frekanslı yüksek enerjiye; uzun dalga, düşük frekanslı ve düşük enerjiye sahiptirler. Bu ifadelerden yola çıkarak faydalanılan elektromanyetik tayfta adlandırılan dalgalar Tablo 2.1’ de frekans, dalga boyu ve enerji seviyesine göre ayrıştırılmıştır. Elektromanyetik dalgalar sınıf, frekans, dalga boyu ve enerji seviyesine göre adlandırılmıştır [16].

Tablo 2.1: Elektromanyetik dalgaların sınıflandırılması

Sınıf	Frekans (f)	Dalgaboyu(λ)	Enerji (E)	Açıklama
Y	300EHz-30EHz	1 pm – 10 pm	1.24MeV–124 keV	Gama Işınları
HX	30 EHz – 3 EHz	10 pm – 100 pm	124 keV –12,4 keV	Sert X-ışınları
SX	3 EHz – 30 PHz	100 pm – 10 nm	12.4 keV – 124 eV	Yumuşak X-ışınları
EUUV	30 PHz – 3 PHz	10 nm – 100 nm	124 eV – 12,4 eV	Uzak morötesi
MIR	30 THz – 3 THz	10 μ m - 100 μ m	124meV– 12,4 meV	Orta kızılötesi
VHF	300 MHz – 30 MHz	1 m – 10 m	1.24 μ eV – 124 neV	Çok yüksek frekans
HF	30 MHz – 3 MHz	10 m – 100 m	124 neV –12,4 neV	Yüksek frekans
MF	3 MHz – 300 kHz	100 m – 1 km	12.4 neV–1.24 neV	Orta frekans
LF	300 kHz – 30 kHz	1 km – 10 km	1.24 neV –124 peV	Alçak frekans
VLF	30 kHz – 3 kHz	10 km – 100 km	124 peV – 12,4 peV	Çok alçak frekans
ULF	3 kHz – 300 Hz	100 km – 1 Mm	12.4 peV–1.24 peV	Ses frekansı
SLF	300 Hz – 30 Hz	1 Mm – 10 Mm	1.24 peV – 124 feV	Süper alçak frekans
ELF	30 Hz – 3 Hz	10 Mm – 100 Mm	124 feV – 12,4 feV	Aşırı alçak frekans

2.2.1 İyonlaştırıcı Radyasyon

Atom veya moleküllerin yörüngelerindeki elektron alış verişi yaparak iyonlara dönüşmesi sürecine iyonlaşma denir. Atomdaki elektron, onu yörüngedeki elektirksel gerilim kuvvetinden kurtulmasını sağlayan enerji elektromanyetik iyonlaştırıcı radyasyon olarak adlandırılır.

İyonlaştırıcı elektromanyetik dalgalar X veya Gama ışınlarıdır. X ışınları Tablo 2.1’de gösterildiği gibi dalga boyları 10 nm’ dan küçük yani enerjisi yüksek dalgalardır. 1 pm – 10 pm dalga boyuna sahip dalgalar ise gama ışınlarıdır. Gama ışınları Şekil 2.4’ teki gibi 10^3 eV- 10^6 eV arasında enerji taşıyabilmektedir.

Gama ışınları atomların çekirdeklerinde meydana gelen enerji seviyelerindeki farklardan oluşur. Çekirdekten bir alfa ve bir beta parçacığı çıkar, sonrasında çekirdekte kararlı bir hal oluşmaz. Artan fazla enerji elektromanyetik radyasyonun gama ışınları formunda yayılır.

Radyasyon etkisine maruz kalan nesnelere birim kütlesi başına düşen emilen enerji radyasyon emilim dozu diye adlandırılır. Bu emilim miktarı radyasyon ile gelen enerjinin nesneye verdiği zarar ile hesaplanır. Maddenin 1 kilogramını 1 coulomb yük ile yüklemek için gerekli miktardır ve SI birim sisteminde C/kg olarak gösterilir [11].

İyonlaştırıcı radyasyon canlı dokulara iletimi sırasındaki enerji ile zarar vermektedir. Bu zarara neden olan enerjiye absorpsiyon (emilim) dozu denmektedir. Enerji emilim dozu birimi olarak SI birim sisteminde Gray (Gy) kullanılır ve maddenin bir kilogramının enerjisini bir joule arttıran büyüklük olarak tanımlanır [11]. Uluslararası Radyoloji Korunma Komisyonu (ICRP – International Commission on Radiological Protection) iyonlaştırıcı radyasyon altında yaşamını sürenler için haftalık en fazla enerji emilim miktarı 100 mGy olarak yayınlanmıştır.

2.2.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

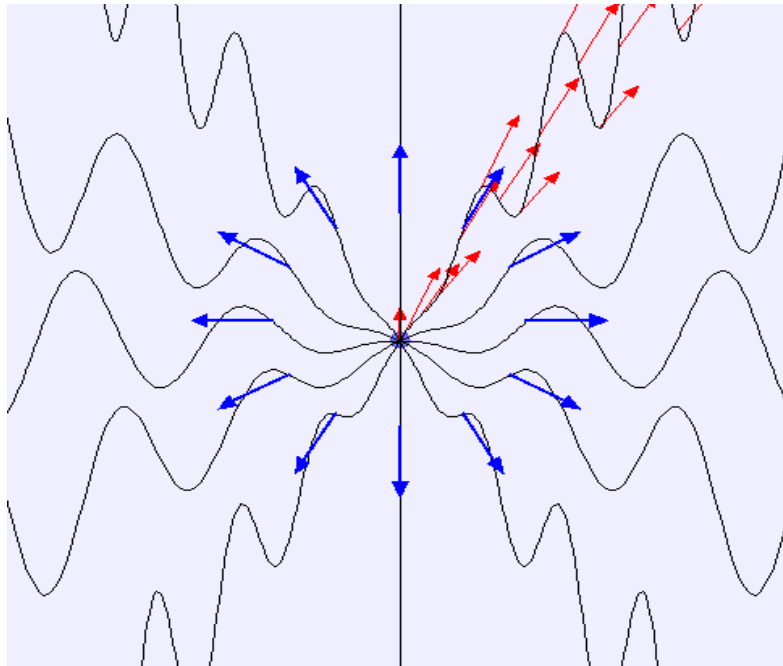
Atom yörüngesinden elektron koparmaya yetemeyecek enerjideki elektromanyetik dalgalar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak isimlendirilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon dalga boyu 100 nm’den uzun, enerjisi 12 eV’ dan düşük ve 300 THz’ ten daha düşük frekansa sahip elektromanyetik dalgalardır. 100 kHz – 10 GHz frekans aralığında bulunan iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun canlı dokular üzerindeki ısı etkileri özgül emilim oranı (SAR – specific absorption rate) ile açıklanmıştır. Birimi doku başına emilen güç miktarı olarak açıklanmıştır ve SI birim sisteminde W/kg şeklinde ifade edilmiştir [6].

2.3 Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri

- Yüklerin ivmeli hareketlerinden oluşur.
- Manyetik ve elektrik alan birbirlerine diktir.
- Yüksüz olduklarından dolayı manyetik ve elektrik alana etkileşimsizdir.
- $E=h.v$ formülüyle enerjilendirilir.
- Ortam geçirgenliğiyle hızları değişir.
- Soğurulabilir olduğundan soğurulan cisimde ısı etkisi yaratır.
- Enine dalgalardır. Oluşturduğu elektrik ve manyetik alanlar aynı fazdadır.
- Boşlukta ışık hızındadır.
- Polarize edilebilir.

Elektromanyetik dalgaların hızı, Maxwell denklemlerinden yola çıkarak (2.15)'deki formülle hesaplanır. Şekil 2.5'te de ivmeli hareket eden parçacıkların oluşturduğu dalgalar resmedilmiştir [12].

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2,998.10^8 \text{ m/s} \quad (2.15)$$



Şekil 2.5: İvmeli hareket eden parçacığın çevresine yaydığı dalgalar

2.3.1 Elektromanyetik Dalga Çeşitleri

2.3.1.1 Radyo Dalgaları

İvmeli yüklerin iletken antende iletilmesiyle meydana gelir. İyonosfer tabakasında yansıtılırlar. Duvarlardan geçer. Radar, TV ve radyo sistemlerinde kullanılır. Dalga boyları 0,3 m – 1 km arasındadır.

2.3.1.2 Mikrodalgalar

Dalga boyları 0,1- 100 cm ve frekansları 0,3-300 Giga hertz (GHz) olan elektromanyetik dalgalardır. Uçakların iniş kalkış sistemlerinde, rota çiziminde kullanılır. Büyük elektromanyetik teleskoplar kullanılarak uzayın belli bölümlerinde incelemeler yapılır.

2.3.1.3 İnfrared Dalgalar

Bütün yüzeysel sıcaklığa sahip cisimler infrared yayılımı yapar. İnfrared ışınlar; 1mm ile 750 nm arasında dalga boyuna sahiptir. Sıcaklık artışıyla enerji artışına neden olunur. TV kumandaları ve gece görüşü termal kameralarda kullanılır.

2.3.1.4 Görünür Işık

Sıcak renkli cisimlerden yayılır. İnsan gözü bu ışığı algılayabilir. Dalga boyları $4.10^7 - 7.10^7$ m değerlerindedir.

2.3.1.5 Mor Ötesi Işınlr

Güneş kaynaklıdır. Yerküreye az bir miktarda ulaşır. Kimyasal bağları koparıp, molekülleri iyonize edebilirler.

Güneş yanıkları mor ötesi ışınların insanlar üzerindeki etkilerinden yalnız birisidir. DNA yapısında meydana getirdiği değişiklikler mutasyonların oluşmasına neden olur.

2.3.1.6 Kızılötesi Işımlar

Elektromanyetik dalgaların tek görünen cinsidir. Hastalıkların teşhisinde kullanılır .Farklı renklerde kendini gösterebilir. mavi, mor, yeşil, turuncu, sarı ve kırmızı bu renklerdenidir. Dalga boyu kırmızıdan mora azalır.

2.3.1.7 Ultraviyole Işımlar

Çıplak gözle görülmezler. 10 - 390 nm dalga boylarındadır. Güneş kaynaklı bu ışınlar, ozon tabakası, bulutluluk, mevsim, deniz seviyesine uzaklık gibi sebeplerle yerküreye ulaşır.

2.3.1.8 X Işımları

Yüksek hıza ulaşmış elektronların metal levhada ışıma yapmasıyla oluşurlar.Yüksek enerji düşük dalga boyuna sahiptirler. Röntgen cihazı bu prensiple çalışır.

2.3.1.9 Gama Işımları

Doğal veya yapay radyoaktif çekirdek tepkimeleriyle oluşur. Çok yüksek enerji düzeylerine ulaşılabilirdiği için insan bedenine zararı çok fazladır. Bu yüzden belirli düzeyde ve belirli açılarda yapılan uygulamalarda kanser tedavisinde etkilidir. Manyetik ve elektrik alanlarda girdiklerinde, yüksüz olduklarından sapmaya uğramamaktadır.

2.3.2 Soğurulma

Doku üzerinde iletim farklı yollarla gerçekleşmektedir. Elektrik alan, atomlardaki elektronlara hareket enerjisi verir. Elektrik alan atom dipollerine etki eder bu polarizasyon olarak adlandırılır ve doku ısınmasına neden olur. Mevcut dipollerin sürtünmesiyle enerji açığa çıkar bu enerji iletimi şeklinde hareket eder ısı yayılımını sağlar.

Düşük frekanslı ışınım yüksek frekanslara oranla daha fazla nüfuz etme özelliğine sahiptir. Yüksek frekansta ışınım nesnelere yüzeysel etkileşim yaptığı için yüzeysel ısınma oluşturur. Cidar kalınlığı ortam koşullarına bağlı olarak frekans arttıkça azalması sebebiyle frekans azaldıkça cidar kalınlığı artış gösterir [7].

$$\delta \approx \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (\text{m}) \quad (2.16)$$

δ =Penetrasyon Derinliği (mm)

f=frekans (Hz)

μ =Manyetik Geçirgenlik (H/mm)

σ =Elektriksel iletkenlik (C^2/Nm^2)

2.4 Polarizasyon ve SAR Değeri

Polarizasyon düzlem dalgaların E, H ve k vektörlerinin etki edeceği nesnenin eksenine paralel hareketiyle tanımlanır. Elektromagnetik dalganın elektrik alan vektörünün doğrultusudur. Yayılma yönünü gösteren vektor **k** ile gösterilir. Polarize görüntümozaigi ışık hareket eden bir dalga veya titreşimdir. Yani ışık kendi doğrultusunda giderken aşağı yukarı, sağa sola hareket eder. Polarize eden, yani kutuplaştıran filtreler ise ışığın sadece bir yönde titreşen dalgalarının geçmesine izin verir. Işığın bu şekilde tek yönlü titreştirilmesine polarizasyon (kutuplaştırma) adı verilir.

Polarizasyon çeşitleri: Doğrusal polarizasyon, dairesel polarizasyon ve eliptik polarizasyondur. Doğrusal polarizasyon: Düzgün bir elektromanyetik düzlem dalganın polarizasyonu, uzayda verilen sabit bir noktadaki elektromanyetik dalganın elektrik ya da manyetik alan vektörünün zamana göre değişimine denir. Dairesel polarizasyon: Dairesel polarize dalga, genlikleri eşit iki dik elektromanyetik düzlem dalgadan oluşur. Oluşan dalgada, faz farkları 90 derece olduğundan dairesel görüntüdedir. Eliptik polarizasyon: Eliptik polarize ışık, genlikleri eşit olmayan iki dik dalgadan oluşur. Faz farkları dairesel polarizasyondaki gibi 90 derecedir fakat genlikleri eşit olmadığından elips bir yörüngede salınım yapar.

Düşük frekanslı alanların etkisinde kalan nesnelere radyasyon etkisi görülmez. Akım akan iletkenlerde enerji \mathbf{H} ve \mathbf{E} alanlarında ışıma yapmadan depolanır. İletken niteliğe sahip canlı dokular statik alanlarda dışarıdan enerji alır. Yüksek frekanslı alanlarda bu enerji geçişi ışıma yöntemiyle oluşur [17]. Düşük frekanslı alanlar etki gösterdiği yerlerde bazen dokuların ısınmasına neden olur. Bu sıcaklık değişimi SAR değeriyle tanımlanır. Özgül emilim oranı olarakta isimlendirilen bu değer (2.17) 'de gösterildiği gibi belli bir nokta için hesaplanır.

$$SAR = \int \frac{\sigma(r)|E(r)|^2}{\rho(r)} dr \text{ (W/kg)} \quad (2.17)$$

Burada σ örneğin elektriksel iletkenliği, E elektrik alanı ve örneğin yoğunluğunu ρ göstermektedir. Cep telefonun çıkış gücü ve dokuya yakınlığı SAR değerini belirler. SAR değeri küp şeklindeki 1g veya 10g'lık bir dokuya EMR uygulanarak hesaplanır. SAR değeri frekansa da bağlı olarak değişen bir parametredir. Eşit çıkış gücünde 1800 MHz frekans doku yüzeyinde 900 MHz frekansa göre daha büyük SAR değeri oluşturur. Ancak 900 MHz beyinde daha büyük SAR değeri meydana getirir. Bazı ülkelerin kabul ettikleri standartları vardır. Avrupa'da 10gr dokuda 2.0 W/kg limit olarak kabul edilmektedir. Amerika'da 1gr dokuda 1,6 W/kg limit olarak kabul edilmektedir [17]. 100 kHz - 10 GHz frekanslara sahip dalganın enerji miktarında kaynağın konumu ve kaynağın şekli önemli bir etkindir.

SAR değerinin laboratuvar ortamında ölçölmektedir. Ölçömleri gerçekleştiren laboratuvarlar cep telefonlarının yanı sıra bilgisayar, USB modem ve bilek monitörleri de test edebiliyor. Bu ölçömlerde akıllı telefonlar, çeneye yakın olacak biçimde, sesin algılanabileceği bir insan kafası modelinin üzerine yerleştiriliyor. Bu test ile radyasyonun model üzerindeki etkisi, yayılan enerjinin doku tarafından hangi hızda emildiği ölçölmöyor. Ölçömlerle birlikte kilo başına ne kadar emilim (Watt) düştüğü ortaya çıkarılıyor. Ölçüm yapılırken insan modelinin kafasının içi insan dokusunun elektrik özelliklerine yakın bir sıvıyla dolduruluyor. Kafanın boyutu, test alanının sıcaklığı, nem oranı gibi koşullar başka araştırmalarla belirlenen standartlar üzerine oturtulmuştur. Modelin kafasına yerleştirilen cep telefonuna döndüğümüzde, sistem bir robot kol, sinyal yükseltici (bilgisayara bağlı) ve evrensel radyo bağlantısından (kontrol cihazına bağlı) oluşuyor. Normal telefon hattı veya baz istasyonu yerine bu cihaza bağlanıyor. Maksimum güçte sinyal veriliyor ve test başlıyor. Dokuların 30 dakikada ne kadar radyasyon emdiği, bu oranın kilogram başına ne kadar olduğu ölçölmöyor. Ortaya telefon modelinin SAR değeri çıkıyor [17].

2.5 İnsan Vücutunda Soğurulma

Günlük hayatta maruz kalınan elektromanyetik dalgalara karşı dikkat çekmek adına çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda hayatımızı sürdürdüğümüz alanlardaki tavsiye edilen sınır değerleri Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyonlardan Korunma Komisyonu (ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) tarafından belirlenmektedir.

İnsan vücutu biyolojik yapısının gereği iletken dokulara sahiptir. Bu dokular elektromanyetik alanlara girdiğinde farklı iletim katsayılarına sahip olurlar. Farklı iletkenlik katsayılarına sahip dokuların soğurulma oranları da farklıdır. Tablo 2.2’de gösterildiği gibi dokular arasındaki sıvı miktarının artması bile bu iletkenliği çok arttırmaktadır. Düşük ve yüksek frekanslardaki soğurulma seviyesi uzuvlar arasında farklılıklar gösterir bu farklılıklar Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’te gösterilmiştir [16].

Tablo 2.2 : GSM haberleşme frekanslarında insan vücudunun dielektrik ve elektrik katsayıları

	900 MHz	900 MHz	1800MHz	1800MHz
Doku	Dielektrik sabiti	İletkenlik sabiti S/m	Dielektrik sabiti	İletkenlik sabiti S/m
Hava	1.0	0.0	1.0	0.0
Kemik	20.8	0.34	19.3	0.59
Deri	43.7	0.68	41.4	1.21
Kan	61.4	1.54	59.37	2.04
Göz	70.00	1.9	68.6	2.03
Beyin	45.8	0.77	43.5	1.14
Kas	57.4	0.82	53.5	1.34

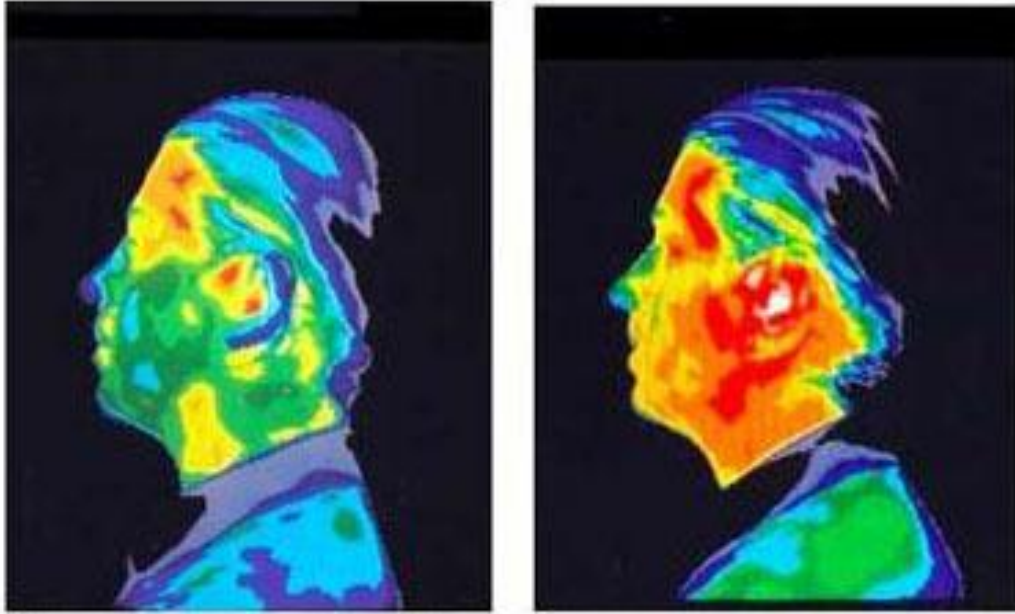
Tablo 2.3: Düşük frekanslarda insan uzuvlarındaki güç soğurulması (watt)

uzuv	Ayak toprak	Boşluk	El toprak	Kafa teması
Alt ayak	$3.28 \cdot 10^{-8}$	$4.43 \cdot 10^{-9}$	$3.44 \cdot 10^{-11}$	$1.23 \cdot 10^{-4}$
Orta gövde	$2.29 \cdot 10^{-9}$	$1.06 \cdot 10^{-9}$	$2.95 \cdot 10^{-10}$	$2.24 \cdot 10^{-5}$
Boyun	$6.60 \cdot 10^{-10}$	$2.80 \cdot 10^{-10}$	$6.73 \cdot 10^{-10}$	0.00
Kafa	$4.67 \cdot 10^{-10}$	$2.30 \cdot 10^{-10}$	$5.80 \cdot 10^{-10}$	0.00
Üst gövde	$1.41 \cdot 10^{-9}$	$2.91 \cdot 10^{-10}$	$4.73 \cdot 10^{-10}$	0.00
Alt kol	$4.53 \cdot 10^{-10}$	$946 \cdot 10^{-11}$	$6.47 \cdot 10^{-8}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$
Ortalama Sar	$6.41 \cdot 10^{-10}$	$1.12 \cdot 10^{-10}$	$1.32 \cdot 10^{-9}$	$6.38 \cdot 10^{-6}$

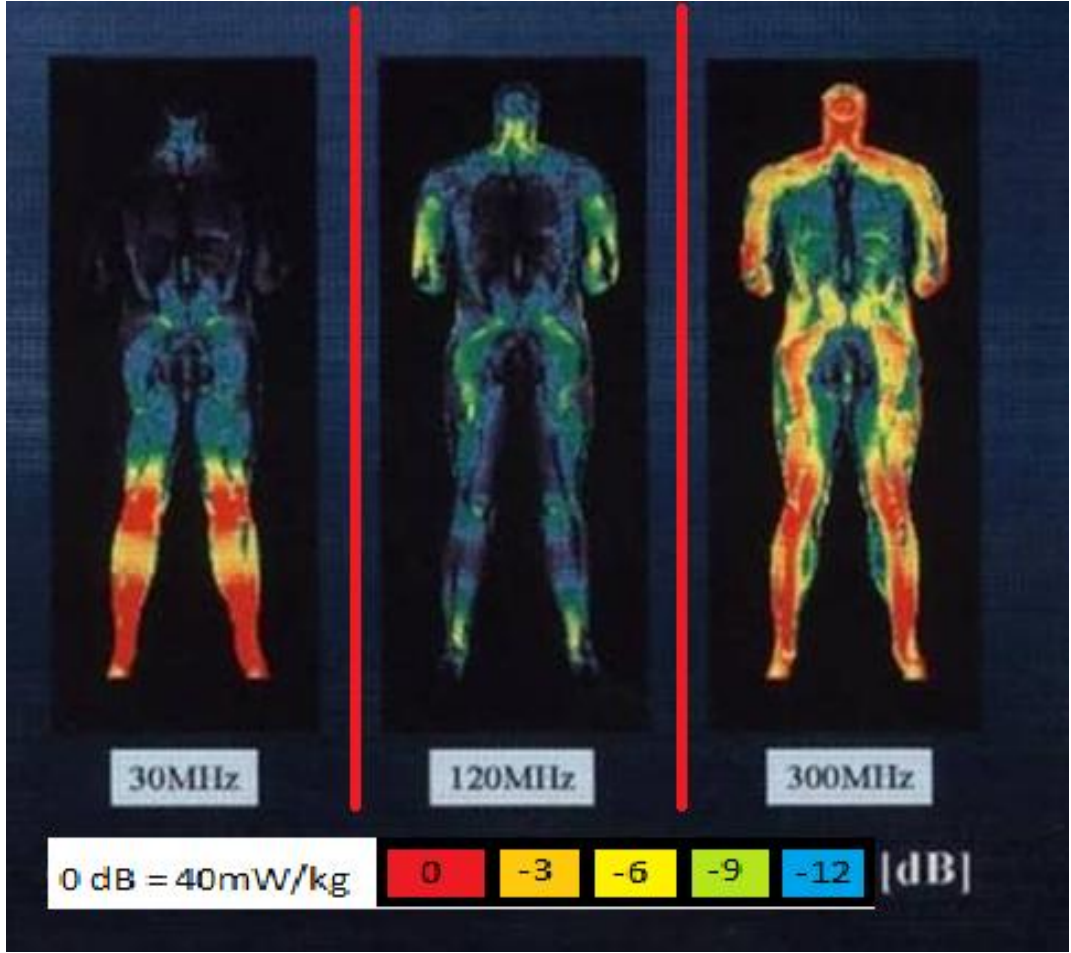
Tablo 2.4: Yüksek frekansta insan uzuvlarındaki güç soğurulması (watt)

uzuv	Ayak toprak	Boşluk	El toprak	Kafa teması
Alt ayak	$5.12 \cdot 10^1$	6.76	$5.26 \cdot 10^{-2}$	$7.66 \cdot 10^{-5}$
Orta gövde	4.48	1.11	$3.08 \cdot 10^{-1}$	$9.36 \cdot 10^{-6}$
Boyun	1.38	$5.89 \cdot 10^{-1}$	1.42	0.00
Kafa	$5.86 \cdot 10^{-1}$	$2.85 \cdot 10^{-1}$	$7.06 \cdot 10^{-1}$	0.00
Üst gövde	2.09	$4.28 \cdot 10^{-1}$	$7.44 \cdot 10^{-1}$	0.00
Alt kol	$6.91 \cdot 10^{-1}$	$1.44 \cdot 10^{-1}$	$1.01 \cdot 10^2$	$2.0 \cdot 10^{-4}$
Ortalama Sar	$9.46 \cdot 10^{-1}$	$1.62 \cdot 10^{-1}$	1.99	$3.79 \cdot 10^{-6}$

Isı etkisinin algılayan termal kameralar yardımıyla çeşitli süre ve frekanslarda elektromanyetik radyasyona mağruz kalan dokulardaki değişimler Şekil 2.6 ve Şekil 2.7 de resmedilmiştir [6].



Şekil 2.6: 15 dakika telefonda görüşme yapan birinin termal kameradaki değişimi



Şekil 2.7: Frekans aralıklarında insan vücudundaki termal değişim

3. ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Elektromanyetik alanların oluşturduğu etkiler haberleşme sistemlerinin gelişmesi ve sistem sayısının artması ile bir artış göstermiştir. Bu alanlar sadece baz istasyonu kaynaklı değildir, lakin en yoğun etkiye sebep olan kaynaklardır. Önceden bahsettiğimiz gibi doğal kaynaklı elektromanyetik alanlarla birlikte enerji iletim hatları, telsiz, cep telefonları ve prize takılı tüm elektromanyetik cihazlar elektromanyetik alanlara neden olur. Doğal kaynaklı EM alanların dışında kalan yapay alanların son derece hızla artmasıyla kanser, kısırlık gibi birçok hastalığa neden olabileceği düşünceleri hızla arttığından, bu alandaki çalışmalar her zaman popülerliğini korumuştur [6].

3.1 Elektromanyetik Alanların Olumlu Etkileri

Elektromanyetik radyasyon, farklı frekanslarda değişken etki sürelerinde ve maruz kalan doku çeşitlerine göre olumlu etkiler gösterebilmektedir. Bir çok bilim adamı bu olumlu etkileri araştırmıştır.

Her ne kadar kansere sebep olabilecek etkilerinin bulunduğu bilinsede kanser tedavilerinde kanserli hücreleri yok etmede veya yayılma etkisini azaltabilecek yapıda kullanılabiliyor. 42.2 GHz frekansta ve milimetre kare dalga boyundaki elektromanyetik dalgalar kanserli hücrelere uygulanarak kötü etkileri yavaşlatacak güçte kullanılmaktadır.

Elektromanyetik dalgalar 30 GHz – 70 GHz bandında hücreyel uygulamalarında kulak, burun, gırtlak kanserleri koroner damar hastalıkları hipertansiyon, akciğer tüberkulozu ve ülser gibi hastalıkların tedavilerinde olumlu sonuçlar verdiği deneysel sonuçlarla keşfedilmiştir [8].

Elektromanyetik dalgalar üreten cihazlar kısa süreli tekrarlarla düşük yoğunluklu güçlerle çalıştırıldığında olumlu etkiler göstermektedir. Bassett ve arkadaşları, EM dalgalarla dokularda zamanla değişen akım oluşturmuşlardır. Osteogenezisi artırılan dokular atermal olarak biyolojik iyileşme sürecini kısaltır. Düşük frekanslı elektromanyetik alanlar sayesinde kemiklerde oluşan ısıyla kaynama süresi öne çekilebilmektedir [16].



Şekil 3.1: Düşük frekanslı EMA cihazların kemiklerin kaynamasında kullanılışı

Kırıkların iyileşme sürecünde düşük frekanslı cihazların çalıştığı ortam çok önem arz etmektedir. Yüksek frekanslı alanlı bölgelerde bu cihaz dokudaki ısı artışını 15-20 dakikalık bir periyotta 1 °C artırarak dokuda deformasyon oluşturmaktadır. Bu tedavi yöntemi elektromanyetik dalgalarca yalıtılmış odalarda uygulanmaktadır [7].

3.2 Elektromanyetik Alanların Olumsuz Etkileri

Elektromanyetik alanların nasıl etki ettiğine dair mekanizma hala tam anlamıyla çözülmüş değil. Günümüzde dokuları oluşturan hücreleri koruyan zar tabaka EMA'a duyarlı olduğu araştırmalarca ispatlanmıştır. Uzun süreli etkileşimlerde hücrelere iyonizasyon oluşturarak DNA, RNA zincirinde değişimler, bunun yanında hormon işleyişinde aksaklıklara neden olur.

Yapılan çalışmalar, EMA'nın fizyolojik etkilerinin yanı sıra psikolojik etkilerinin de bulunduğunu göstermiştir. Kan basıncı, kalp atış hızı, vücut ısısı değişimi gibi etkiler gönüllü denekler üzerinde denenerek ispatlanmıştır.

3.2.1 EMA'nın etkilerinin günümüze kadar keşfi

1972'de Rusyada yapılan çalışmalarda EMA'nın baş ağrısı ve halsizliğe neden olabileceği belirtildi. 1979'da lösemili çocukların yaşadıkları yerlerde yüksek gerilim hatlarının geçmesinin buna bir neden olabileceği etkisi üzerinde çalışmalar yapıldı. 1986 yılında İsveçte fareler üzerinde yapılan EMA deneylerinde maruz kalan farelerin doğurganlık oranlarında azalma görülmektedir [8]. 1988'de bilgisayar başında 20 saatin üzerinde çalışan kadınların düşük yapma diskini 2 kat arttırıldığı gözlemlenmiş. 1990 yılında gebeler üzerinde yapılan başka bir çalışmada elektrikli battaniye kullananlarda, kullanmayanlara göre %30 luk düşük yapma artışı gerçekleşmiştir. 2000 li yılların başında hücresel mutasyonun uzay yolculuklarında çok yoğun elektromanyetik alanlara maruz kalınmasıyla oluştuğu NASA ve ESA tarafından ispatlanmıştır [15].

3.2.2 EMA & Kanser

Elektromanyetik radyasyon çalışmaları üzerinde durulurken en çok kanser üzerindeki etkileri incelenmiştir. EMA'nın kanser hastalığıyla ilişkisi tam açıklanamamış olsada WHO 2003 yılında elektromanyetik alan faktörünü 2b olası kanseröjen etkiler arasında göstermiştir.

2015 yılında yapılan deneylerde 4000 kanser hastasının 100'e yakını EMR kaynaklı olduğu düşünülüyor. 400'e yakın hastanın da EMR etkisiyle vücut direncinin düşmesinden kaynaklı kansere yakalandığı deneysel verilerle belirtilmiştir [15].

3.2.3 EMA ve Sinir Sistemi

ABD'de yapılan çalışmalara göre mesleki EMR maruz kalmasından oluşan Alzheimer hastalarının başka sebeplerden oluşan Alzheimer hastalarına göre iyileşme oranı çok düşmektedir. Bunun sebebi kalsiyum homeostazinin bozulmasına bağlı bağışıklık sistemindeki hücrelerin etkisiz duruma gelmesinden dolayıdır. Başka çalışmalarda baz istasyonlarının insanlar üzerinde psikolojik bir baskı oluşturduğu ve bu baskının depresyona kadar ilerleyebildiği düşünülüyor. Bu psikolojik etkiler ve gelen tepkileri azaltmak adına baz istasyonu antenleri farklı yollarla saklanıyor [15].

3.3 Elektromanyetik Radyasyondan Korunma Yolları

- Yüksek gerilim hatları yerleşim yerlerinden uzağa taşınması gerçekleştirilmeli. 380 kv kullanılan yüksek gerilim hattında güvenlik mesafesi 60 metre olmalıdır 154 kv da bu mesafe 40 metredir.
- Elektrikli masaj yatakları veya elektrikli battaniyeler çalışır durumda uzun süre kullanılmamalıdır.
- Çalar saatler, telefonlar, gece lambaları yattığımız yerlere en az 2 metre mesafede bulunmalıdır.
- Bilgisayar en az bir kol mesafesi uzaktan kullanılmalıdır.
- Fişe takılı elektronik cihazlardan uzak durulmalı.
- Cep telefonlarıyla görüşme yaparken kulaklık kullanılmalı.

3.4 Uluslararası Standartlar ve Limit Değerler

Elektromanyetik alanların etkilerinden korunabilmek için çeşitli kuruluşların oluşturdukları bildirelerle belirli standartlar ve sınır değerleri belirlenmiştir.

Bir çok ülkede uygulanan sınır değerleri Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) tarafından tanınmış ve uluslararası kuruluş olan ICNIRP (Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu) halk için günde 24 saatlik dilimdeki maruz kalınmayla hesaplanıp belirlenmiştir. Sınır değerleri yayılan ışımın frekansına bağlı olarak değişim gösterir. 900 MHz dalga frekansında elektrik alan şiddeti 41,25 V/m manyetik alan şiddeti ise 0,115 A/m olarak belirlenmiştir. ICNIRP bağımsız bir kuruluştur merkezi Almanyadadır. Bu kuruluş Türkiyeninde içinde bulunduğu birçok ülkenin kullandığı sınır değerleri hesaplamak için çalışmaktadır [9]. ICNIRP mecburi maruziyet değerlerini hesaplayıp bu değerlerden halk maruziyet değerlerinin oluşturulmasında en geçerli standartlara ulaşmıştır. Bu limit değerler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 de gösterilmiştir. Tablodaki değerler belirli frekans aralığındaki güvenlik mesafeleri düşünerek hesaplanabilir [16].

Tablo 3.1: Mecburi maruziyet için elektromanyetik limit değerleri (ICNIRP)

Frekans aralığı	Elektrik Alan (V/m)	Manyetik Alan (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)	Güç Yoğunluğu (W/m^2)
<1 Hz	-	$1,65 \cdot 10^5$	2.105	-
1Hz-8Hz	20000	$1,63 \cdot 105/f^2$	$2 \cdot 105/f^2$	-
8Hz-25Hz	20000	$2 \cdot 104/f$	$2,5 \cdot 104/f$	-
0,025-0,8kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
0,8-65kHz	610	24,4	30,7	-
0,065-1 MHz	610	$1,6/f$	$2/f$	-
1-10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	$2/f$	-
10-400 MHz	61	0,16	0,2	10
400-2000MHz	$3 \cdot 10^{-2}$	$0,008 \cdot 10^{-2}$	$0,01 \cdot 10^{-2}$	$f/40$
2-300GHz	137	0,36	0,45	50

Tablo 3.2: Halk maruziyet için elektromanyetik limit değerleri (ICNIRP)

Frekans aralığı	Elektrik Alan (V/m)	Manyetik Alan (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)	Güç Yoğunluğu (W/m^2)
<1 Hz	-	$3.2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	-
1Hz-8Hz	10000	$3.2 \cdot 10^4/f^2$	$4 \cdot 10^4/f^2$	-
8Hz-25Hz	10000	$4 \cdot 10^3/f$	$5000/f$	-
0,025-0,8kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
0,8-3kHz	$250/f$	5	6,25	-
3-150 MHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	-
1-10 MHz	$87/f^2$	$0.73/f$	$0.92/f$	-
10-400 MHz	28	0,073	0,092	-
400-2000MHz	$1.375 \cdot f^2$	$0.0037 \cdot f^2$	$0.0046 \cdot f^2$	$f/200$
2-300Ghz	61	0,16	0,20	10

Türkiyedeki Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu ICNIRP sınır değerlerinin en yüksek limitleri esas alınarak 09.10.2015 Tarih ve 29497 Sayılı Resmi Gazetede “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik’te çıkarmıştır. BTK yayınladığı yönetmeliğe göre ortamın toplam elektrik alanı sınır değerleriyle tek bir cihaz için elektrik alan sınır değerleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Tek cihaz için belirlenen değerler, ortamın toplam değerlerinin 1/4 ‘lük kadar bir kısmı baz alınarak hesaplanır. Bu değerler Tablo 3.3’ te belirtilmiştir [9].

Tablo 3.3: Ortam ve tek cihaz için belirlenen sınır değerler (BTK)

Frekans (Hz)	Elektrik Alan (V/m)		Manyetik Alan (A/m)	
	0,01-0,15	19,3	65,25	1,1
0,15-1	19,3	65,25	0,16/f	0,54/f
1-10	19,3/f ²	65,25/f ²	0,16/f	0,54/f
10-400	6,2	21	0,016	0,054
400-2000	0,305.f ²	1,03.f ²	0,00082.f ²	0,0027.f ²
2000-6000	13,5	45,75	0,035	0,12
xxxx	TEK	ORTAM	TEK	ORTAM

Türkiye'deki 3 büyük telekomünikasyon firması baz istasyonları kurarak iletişim ağını genişletiyor. Bu iletişim ağını genişletirken kurdukları baz istasyonlarından oluşan elektrik alan ölçümleri BTK onaylı cihazlarla ölçümü yapıлып sınır değerlerle eşleştirilir. Tablo 3.4'te bu 3 şirketin sınır değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Türkiye'deki 3 operatörün çalıştıkları frekanslardaki sınır değerleri(BTK)

GSM	BAND(Hz)	Elektrik.A.(V/m)		Manyetik. A.(A/m)	
		Vodafone	900	10,23	41,25
Türkcell	900	10,23	41,25	0,027	0,111
Türk Telekom	1800	14,47	58,34	0,038	0,157
HEPSİ (3G)	2100	15	61	0,04	0,16

Tablo 3.5: İsviçre' de uygulanmakta olan sınır değerleri

Elektromanyetik Alan Kaynağı	Sınır Değerler
Yüksek Gerilim Hatları	1µT (M.A)
Radyo TV Vericileri	3 V/m
GSM 900 MHz	4 V/m
GSM 1800MHz	6 V/m
GSM 2100MHz	6 V/m
3 GSM Haberleşmenin	5 V/m

900 MHz bandında çalışan bir cihaz tek başına yaydığı elektrik alan şiddeti 10,25 V/m, manyetik alan şiddetinin ise 0,027 A/m seviyelerini aşmamalıdır. 1800MHz band aralığı için ise bu değerler elektrik alan için 14,47 V/m ve manyetik alan için 0,038 A/m'dir. İsviçre insan sağlığı için bu kritik değerlerin 0,1 katını baz alarak sınır değerler vermiştir. Türkiye de ise ICNIRP'nin maksimum değerleri sınır koşul alınmıştır. Tablo 3.6'da bazı ülkelerde uygulanan sınır değerleri gösterilmiştir [14]. İnsan sağlığını korumaya yönelik oluşturulan bu sınır değerler, teknolojinin gelişmesi ile birlikte sürekli değişim göstermektedir. Sınır değerler üzerine yapılan bu çalışmalar, insanların sağlıklı bir yaşam sürmeleri adınadır. İngilterenin dışındaki tüm avrupa ülkeleri, yasal sınır değerler konusunda çok hassas davranmaktadır.

Tablo 3.6: Bazı ülkelerin GSM İçin kabul ettikleri sınır değerleri

Kuruluş/Ülke	Frekans (Hz)	Elektrik Alan (V/m)
ICNIRP	900	41
	1800	58
İNGİLTERE	900	46,4
	1800	61,4
TÜRKİYE	900	41
	1800	58
BELÇİKA	900	10,2
İTALYA	900	6,1
RUSYA	900	6,1
MACARİSTAN	900	6,1
İSVEÇ	900	4
ÇİN	900	12
İSVİÇRE	900	4
FRANSA	900	4,2
ALMANYA	900	4,2

4. BAZ İSTASYONLARI VE ELEKTRİK ALAN ÖLÇÜMLERİ

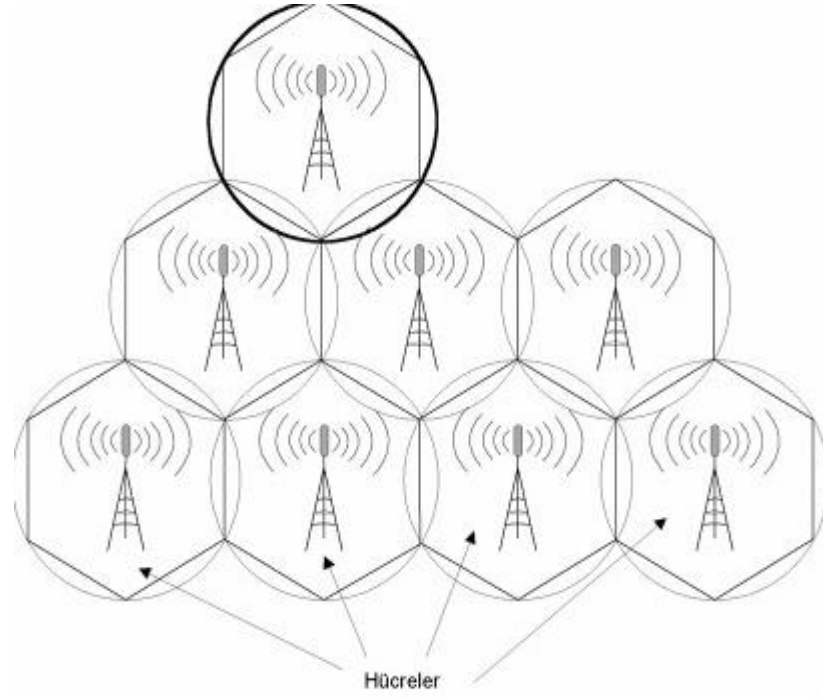
Bu bölümde yapılan çalışmamda Balıkesir ili sınırları içerisindeki baz istasyonları tanıtılmakta ve bu baz istasyonlarının ölçüm sonuçları raporlanmaktadır.

4.1 Baz İstasyonları

Cep telefonları, bulaşık makineleri, su ısıtıcılar, buzdolapları, bilgisayarlar, fotokopi makineleri gibi elektrikle çalışan tüm cihazlar elektromanyetik ışınım yayarlar.

Elektromanyetik ışınım miktarının en fazla olduğu cihaz baz istasyonları ve onlarla iletişim kurulabilen cep telefonlarıdır. Türkcell, Vodafone ve Türk Telekom şirketleri iletişim ağlarını genişletmek ve tüm kullanıcıların en ücra köşelerde bile haberleşmeyi sağlayabilmesi için baz istasyonları kurması gereklidir. Bu baz istasyonlarının kurulmasının yapılabilmesi için Bilgi Teknoloji Kurumun (BTK) dan izin alması gereklidir. İzni alınan baz istasyonları kurulumları gerçekleştiğinden itibaren BTK denetimlerine tabi tutulur. Baz istasyonlarındaki en ufak değişiklikler BTK'ya sunulur. Yapılan tüm değişiklikler sonrasında BTK, baz istasyonunun yasal ölçümlerini tekrar gerçekleştirir [13].

Baz kelimesi Türkçeye İngilizceden base (temel, taban) kelimesinden geçmiştir. Çalışma mekanizması gereği bir radyo alıcısı, vericisi rolündedir. Mikrodalgalar gibi ısı ışınımı yapmaz. Bir çok aboneye aynı frekans bandlarında sabit frekanslarda yayın yapmanın en ideal yolu o bölgeyi belli küçük alanlara bölerek yayılım hücreleri oluşturmaktır. Bölgeleri hücrelere ayırması bölgenin iletişim ihtiyacı, bölgenin arazi yapısı, bölgelerin bina yoğunluğu gibi etkenlere göre belirlenir. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde, baz istasyonlarının fazlalığı bununla açıklanır.



Şekil 4.1: Baz İstasyonlarının hücresele yapılaraya ayrılması

GSM hücreleri yerleşim yerlerinin planlarına göre düzenlenir. 3 çeşit hücre tipi vardır bunlar: Makro, mikro ve piko hücrelerdir. 900 GHz, GSM hücreleri için ülkemizde seyrek nüfusa sahip yerleşim yerlerinde 25-30 kilometrelik bir alana hizmet eder ve makro hücrelerin çalışma frekansıdır. Çevre şartlarının çok sarp olduğu yerlerde bu mesafe küçülür. Makro hücreler buldukları anten çeşitlerine göre çıkış güçleri 40-60 watt arası çıkış yapabilirler. Bu güçler operatör kontrolünde değiştirilebilir.

Mikro hücreler insan yaşamının yoğun olduğu bölgelerde görülür. Makro hücreleri tamamlayıcı ve genişletici niteliktedir. Alışveriş merkezleri, otobüs terminalleri, hava alanları, üniversite kampüsleri, stadyumlar mikro hücrelerin kapsama alanındadır. 5-15 watt civarında çıkış güçlerine sahip baz istasyonları bu alanlarda karşımıza çıkar. Piko hücreler yer altı laboratuvarları, bina içi haberleşme sistemlerinde kullanılır belirli küçük alanlar için kullanılır. En düşük güçlü hücrelerdir. 3 watt güç çıkışını aşamaz. Tünellerde haberleşme ağının kesilmemesi için tünellerin bulunduğu bölgeler bu hücreler ev sahipliği yapar.



Şekil 4.2: Baz istasyonu anten ve linkleri

İki yönlü yayın yapan alıcı ve verici antenlere sahip kule, mutlaka bir cep telefonu kullanıcısı ile iletişim içerisindedir. Çubuk antenlerle yayın toplanır ve çanak antenlere aktarılır çanak antenler ise yüksek frekansta yayın yapar. Baz istasyonlarının kulelerinde link denen çanak antenler sayesinde, belli bir bölgedeki tüm baz istasyonları birbiriyle iletişim halindedir. Çıkış güçleri farklı olsada baz istasyonları birbirleriyle haberleşmektedir. Baz istasyonlarının her birinin güvenlik mesafesi vardır. Bu güvenlik mesafeleri operatörlerce çıkış güçleriyle değiştirilebilir. Güvenlik mesafesi 4.1 deki formülle hesaplanır [9].

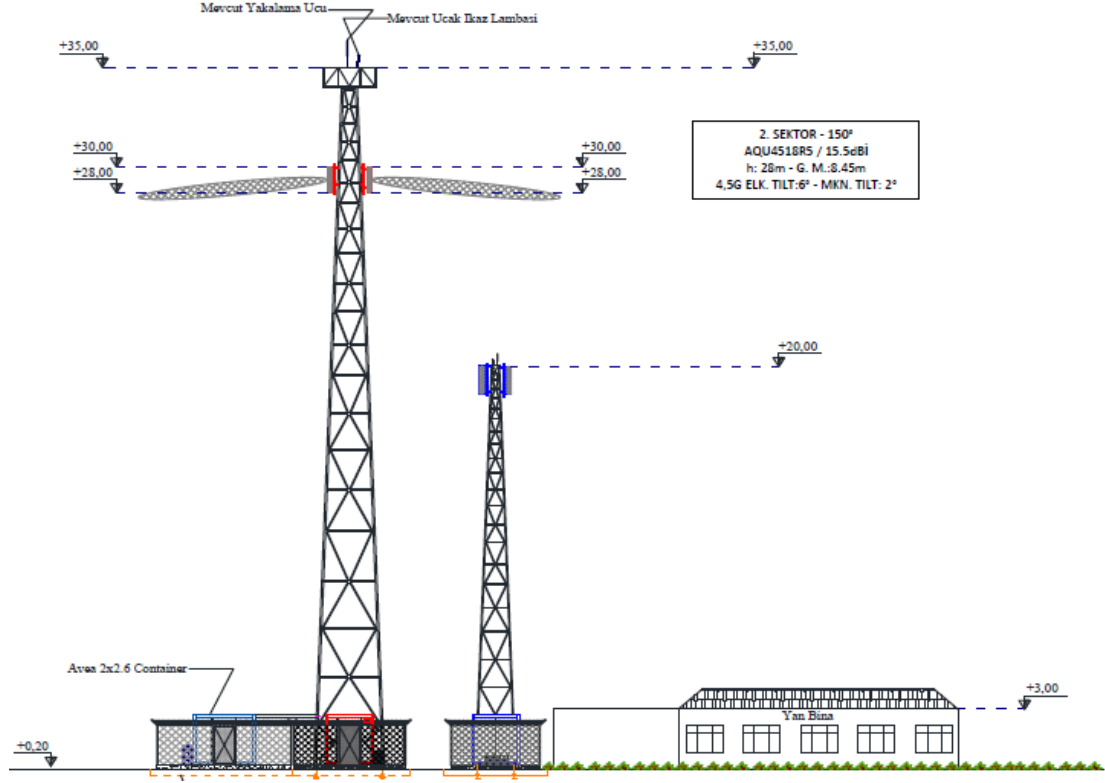
$$d = \frac{\sqrt{30 * P * 10^{G/10}}}{E} \quad (m) \quad (4.1)$$

P=Çıkış gücü (Watt)

G=Anten kazancı (dBi)

E= Elektrik alan limit değeri (V/m)

d= Güvenlik mesafesi (m)



Şekil 4.3: Anten güvenlik mesafeleri

Güvenlik mesafeleri, yerleşim birimlerini baz istasyonlarının zararlı etkilerinden korur. GSM operatörleri baz istasyonlarına uzaktan kontrol özelliğiyle çıkış gücünü değiştirebiliyorlar. Değiştirilen güçler sayesinde antenler hareket ettirilmeden güvenlik mesafeleri korunmuş olur.

Tablo 4.1: Farklı güçlerdeki güvenlik mesafeleri

xxxxx	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)			
	d=1 m	d=5 m	d=10 m	d=20 m
Verici				
40 W	345	14	4	1
5 W	69	3	1	0,2

Makro ve mikro hücrelerin içerisindeki baz istasyonları farklı güçlere sahip olduklarından bölgelere göre güvenlik mesafeleri değişmektedir. 60 W gücünde yayın yapan bir istasyon 10 m uzağında çok düşük Elektrik alan şiddetine sahip olabilir. Çünkü istasyon çevresindeki yapılardan oluşan yansımalar elektrik alan şiddetini düşürür.

4.2 Çalışma Kapsamı

Elektromanyetik alanlar, ölçümler yapılarak değerlendirilmektedir, ama bu alanlar çeşitli hissetme eşliğindeki insanlar tarafından algılanabilir. Örneğin yapılan çalışmalarda 10 kV/m değerindeki elektromanyetik alanlar deri üzerinde üfleniyormuş hissi uyandırır. 10-20 kV/m değerlerinde deride batmalar hissedilir. 20 kV/m yi geçen değerlerde bu batma şiddeti artar [17].

Elektromanyetik radyasyon, insanlar üzerinde en büyük etkiyi baz istasyonları ve cep telefonları tarafından gösterebilir. Bu alanda bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar baz istasyonlarının bir çok olumsuz etkisini kanıtlar nitelikte olsa da yeni yapılan çalışmalar bu maruziyetin giderilmesi doğrultusunda olmaktadır. Kanser gibi bir çok hastalığın oluşumunda başrol oynayan elektromanyetik radyasyon, yeni çalışmalarla birlikte bu hastalıklar üzerinde etkisi azaltılmaya çalışılmaktadır.

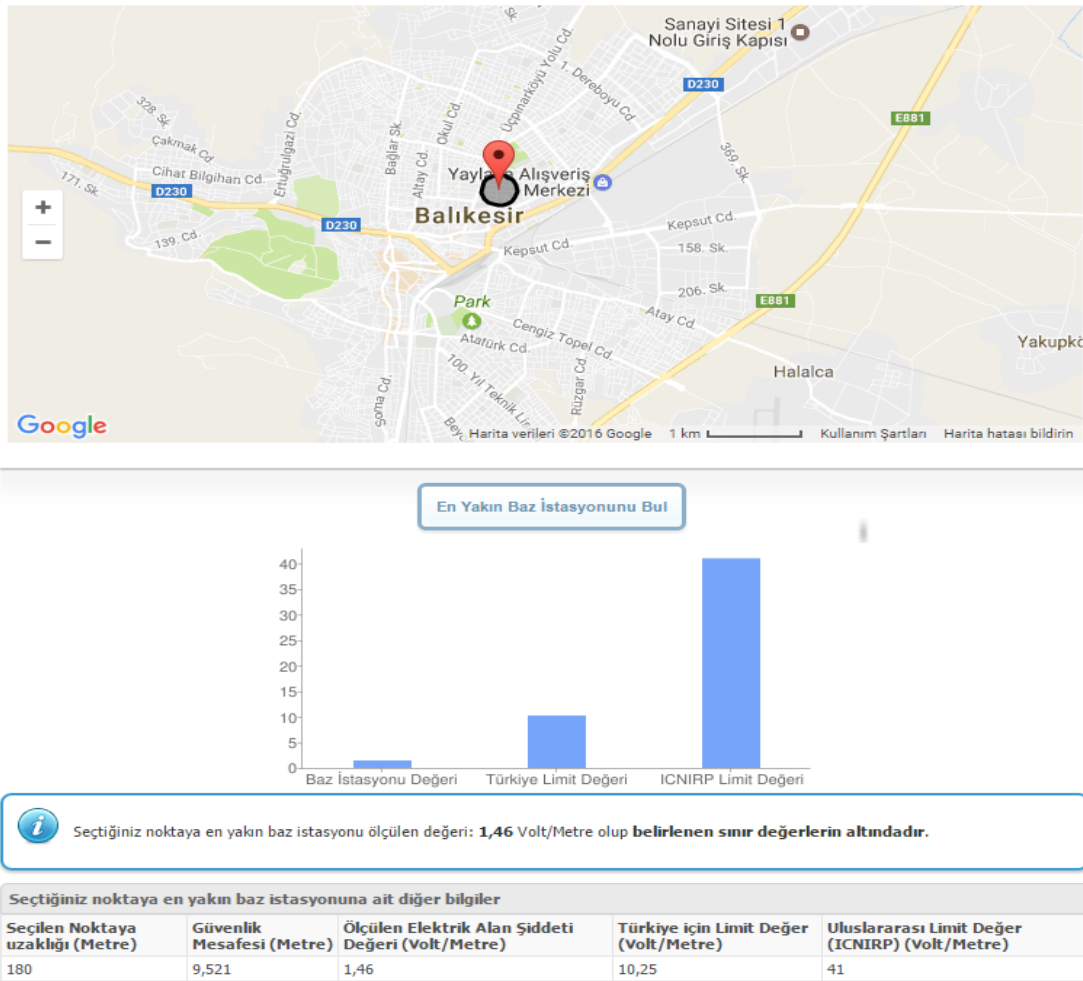
Ülkemizde, baz istasyonları denetlemelerinin giderek artması insan sağlığı üzerine yapılan çalışmaların başında gelir. 4,5 G'nin ülkemize gelmesiyle 100 000'e yakın yeni baz istasyonu kurulmuştur. Bu baz istasyonları kuruluş aşamalarından devreye alma aşamasına kadar BTK kontrolünde yapılmaktadır. Devreye alınan baz istasyonlarında yapılan ölçümler BTK onayına sunulmaktadır. Kritik ölçüm sonuçları o baz istasyonunun revizyonuna girmesini sağlamaktadır.

Ülkemizde uygulanan sınır değerleri aşan tüm baz istasyonlarının çalışması durdurulur. Bu baz istasyonları yasal limit değerlere uyduğu takdirde yeniden devreye alınabilir. Hızla artan iletişim ağı sebebiyle artış gösteren baz istasyonları BTK'nın onayını alan firmalarca denetime tabi tutulmaktadır. Denetimler çok sık aralıklarla gerçekleştirilmektedir. Yapılan her çalışmanın raporu BTK'ya sunulur.

BTK'nın bireysel ölçüm yapan şirketler dışında yeni bir ölçüm projeleri bulunmaktadır. Bu çalışma ESİS (Elektromanyetik Alanların Sürekli İzleme Sistemi) diye adlandırılmaktadır. ESİS kapsamında ilk başta Ankarada 10, İzmirde 5 olmak üzere 7/24 sabit ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümler BTK'nın web sitesinden aynı anda kamuoyuna sunulmaktadır. Yapılan bu sabit ölçümler, baz istasyonlarına yakın yerlerde yapılmaktadır. Sadece baz istasyonlarından gelen elektromanyetik alanları

değil çevredeki radio ve TV vericilerinden gelen elektromanyetik alan ölçümlerini de aynı anda halka sunmaktadır. Her ne kadar sabit bir yapıya sahip olsa da, proje kapsamında 6 aylık dönemlerde sistem farklı noktalara kurulmaktadır. Proje kapsamının genişlemesiyle sayıları artması beklenmektedir [9].

BTK'nın başka bir çalışması e-devlet sistemi üzerinden gerçekleştirilmektedir. e-devletten bireysel giriş yapılarak istenilen konum seçiliyor ve o noktaya en yakın baz istasyonu verileri üzerinden ölçüm sonuçları aktarılıyor. Seçilen konuma en yakın baz istasyonunun o noktaya uzaklığı, ölçüm bilgilerinde gösterilmektedir. Ölçüm bilgilerinde elde edilen elektrik alan değerinin yanı sıra ICNIRP sınır değerleri ve Türkiye için uygulanan sınır değerleri de kamuoyuna sunulmuştur. Bu çalışmayla insanlar kendilerine etki edebilecek baz istasyonlarını ve güvenlik mesafelerini Şekil 4.4'deki gibi açık bir şekilde görebilmektedir.



Şekil 4.4: e-devlet sistemi üzerinden baz istasyonu incelemesi

Tablo 4.2: Balıkesir’de belirlenen ölçüm noktalarındaki elektrik alan değerleri

KONUM	İstasyon uzaklığı(m)	Güvenlik mesafesi(m)	Ölçülen değer(V/m)
Zağnos paşa camii	97	8,486	3,12
Atatürk stadyumu	276	10,889	0,48
Gar	133	6,255	1,71
Alteylül Ortaokulu	67	9,987	0,76
Yaylada avm	91	10,678	1,79
Milli Kuvvetler Caddesi	44	5,04	1,48
Anafartalar Caddesi	83	9,956	1,97
Balıkesir Üniversitesi Rektörlük	297	15,108	2,89

4.3 Balıkesir İli Baz istasyonları Denetlemeleri

Bu tez çalışmasında Balıkesir ilindeki 60’a yakın baz istasyonunun denetlemesi yapıldı. Çalışmamız BTK tarafından kalibrasyonu yapılmış ölçüm cihazlarıyla yapılmıştır. Ölçümler sadece BTK onayını almış şirketlerce yapılabilir.

Balıkesir 2014 yılında büyükşehir belediyesi olmasıyla merkez ilçelerdeki baz istasyon sayısı %10 oranında artmıştır. Genel olarak 3 operatörde merkezlerde aynı baz istasyonu alanlarını kullanmaktadır. Böylece hem görüntü kirliliği önlenmekte oluyor hem de denetlemeler kolaylaşmaktadır.

Baz istasyonları, kullanıcıların talepleri incelenerek ve bölgelerde iletişim analizleri yapılarak en uygun noktalara yerleştirilmektedir. Bina sayısının çok olduğu sık yerleşimlerde baz istasyonları en yüksek binalara kurulmaktadır. Böylece kapsama alanı genişletiliyor ve güvenlik mesafesi otomatik olarak büyümektedir. Balıkesirdeki bir operatöre ait baz istasyonları Şekil 4.5 gösterilmiştir. Bu haritada sadece büyük güçlere sahip baz istasyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Balıkesir’de bir operatöre ait büyük güçteki baz istasyonları

4.4 Baz İstasyonu Ölçümleri

Bu tez de belirtilen bölgelerde baz istasyonu ölçümleri gerçekleştirildi.

4.4.1 Balıkesir Küçük Sanayi Baz İstasyonu

İlk ölçüm Bursa yolu 2. Km temsas servisi no: 33 pafta: 31 parsel: 2691 Karesi/BALIKESİR açık adresindeki Vodafone telekomünikasyon şirketine ait bir baz istasyonunda gerçekleştirildi. Bu baz istasyonu için Vodafone BTK’ya anten revizyonu talebinde bulunmuştur. K742215 anteni demonte edilerek yerine K742265 anteni takılmıştır. Bu revizyon sonucunda değişen anten verileri ölçülmüştür. Şekil 4.6 ‘da gösterilen baz istasyonu 4 sektöre (anten) sahiptir. Bir sektördeki anten değişimine rağmen başvuru formu 4 sektördeki anten içinde gerçekleşmektedir. BTK başvuru formunda, antenlerin bakış açıları belirtilmiştir. Bu şekildeki uygulama, antenlerin yönündeki yerleşim yerlerinin tespiti için yapılmaktadır.



Şekil 4.6: Balıkesir küçük sanayi baz istasyonu

Baz istasyonundaki değişimler için yapılan müracaat formunda baz istasyonuna ait tüm veriler bulunmak zorundadır. Baz istasyonlarının antenleri doğrultusundaki sınırlarında, okul veya bir sağlık kuruluşunun olmamasına dikkat edilmektedir. Ülkemizdeki sınır koşullara göre okul ve hastanelerde ölçülen elektrik alan değeri 3 V/m'yi geçmemelidir. Değişikliğe tabi tutulan 4.sektör anteni özellikleri şöyle sıralanmaktadır:

- Kordinatlar N:39°40'05,80 E:27°55'06,60
- Anten tipi K742265
- Kullanılan frekans 2100GHz
- Kullanılan max çıkış gücü 5watt
- Anten kazancı 18,3 dBi
- Sağlık kuruluğu ve okul bahçelerine sınırı yoktur.
- Hesaplanan güvenlik değeri 7,46m
- Anten yerden yüksekliği 33 m
- Topraklaması var ve 5Ω altındadır.
- Paratonere sahiptir.
- Sivil havacılık tedbirleri mevcuttur.



Şekil 4.7: Mevcut baz istasyonu revizyonu uygulanan 4.sektör anteni



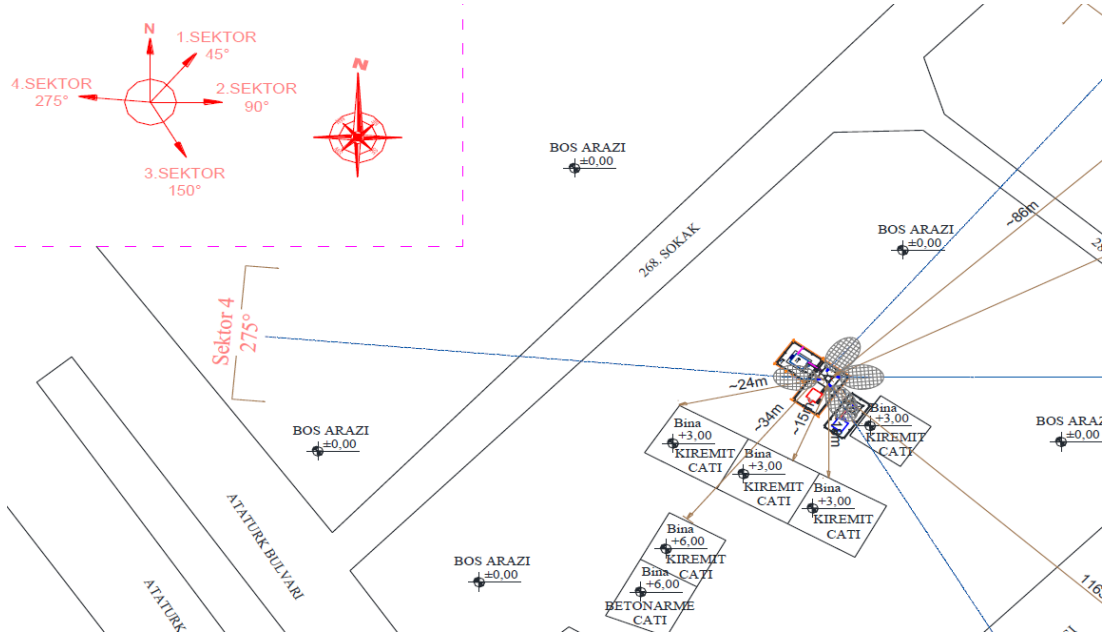
Şekil 4.8: Mevcut antenin bakış açısı

Yapılan müracaatlar sonucunda revizyon denetimi için BTK onaylı cihazlarla ölçümler yapıldı. Ölçümler anten başına 3 ölçüm şeklinde yapılmıştır. 1. ölçüm anten cepesinden 45 metre uzaklıkta 6 dakikalık bir sürede yapılmıştır. Bu 6 dakikalık süre BTK'nın ölçümlerde istediği yasal süre olarak tanımlanır. 2. ölçüm 4.sektör cepesinin biraz sağında 45 metrelik mesafede 6 dakikalık ölçüm yapılmıştır. 3. ölçüm 4. Sektörün biraz solunda 45 metrelik mesafede 6 dakikalık sürede gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda raporlar hazırlanmıştır. Bu rapor onay almak üzere, BTK'ya sunulur. Ölçüm değerleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Küçük sanayi baz istasyonu ölçüm sonuçları

Anten Sektör(4)	Antene uzaklık	Ölçülen E.A (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu W/m ²	Ölçüm saati
45 m açık alan içerisi	45 m	3,87	0,03744	17:46 17:52
45 m sol açık alan içerisi	45 m	3,26	0,02657	17:53 17:59
45 m sağ açık alan içerisi	45 m	3,95	0,03901	18:00 18:06

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler BTK'ya sunulup kritik değerleri aşmadığı gözlemlendiğinden antenin çalışmasında hiç bir engel bulunmamıştır. 4.sektör o bölgedeki kullanıcılara yeni kurulumlarla daha iyi bir 3G iletişimi sağlaması düşünülüyor. Çalışmasını sınır değerlere uygun bir şekilde gerçekleştirmektedir.



Şekil 4.9: Küçük sanayi baz istasyonu projesi çizimi

4.4.2 Balıkesir Toki Baz istasyonu

Ayşebacı mahallesi toki caddesi parsel 240 pafta 7 Bursa yolu 5.km Karesi/ BALIKESİR adresindeki Türkcell telekomünikasyon şirketine ait baz istasyonunun revizyonu için BTK'ya başvuruldu. Revizyon kapsamında 3418 RBS cabinet modülü 6601 RBS cabinet modülü ile değiştirildi. Baz istasyonundaki modül değişiminden kaynaklı revizyonlarda tüm sektörlerde ölçümler yapılır. Yapılan değişiklik tüm sektörlerle etki etmektedir. Ölçümlerdeki antenlerin özellikleri Tablo 4.4' te gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Balıkesir toki baz istasyonu anten özellikleri

MODEL	RBS 6601	RBS 6601	RBS 6601
Frekans	2100 MHz	2100 MHz	2100 MHz
	SEKTÖR 1	SEKTÖR 2	SEKTÖR 3
Çıkış Gücü watt	39,99	20,00	39,99
Anten Kazancı	18 dBi	18 dBi	18 dBi
Anten Tipi	K 742 215	K 742 215	K 742 215
Anten Yüksekliği	22.50 m	16.50 m	22.50 m
Güvenlik Mesafesi	20,380 m	14,413 m	20,380 m



Şekil 4.10: Balıkesir toki baz istasyonu antenleri

Ölçümler gerçekleştirilmeden önce BTK'ya sunulan revizyon belgelerindeki anten bakış açıları dosyadakiyle uyuşup uyulmadığı kontrol edildi. Anten bakış açıları ölçüm raporlarına eklendi. Anten bakış açıları Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.11: Balıkesir toki baz istasyonu 1. sektör bakış alanı



Şekil 4.12: Balıkesir toki baz istasyonu 2. sektör bakış alanı



Şekil 4.13: Balıkesir toki baz istasyonu 3. sektör bakış alanı

Bakış alanlarının keşfi yapıldıktan sonra ölçüm gerçekleştirildi. Ölçümler her anten için 3 farklı noktadan 6 şar dakikada yapılmıştır. Yapılan ölçümler sırasında yağmur başladığı için elde ettiğimiz değerler, yakın alanlarda daha yüksek çıkabileceği raporlarda not düşülmüştür. Ölçülen bu değerlerdeki artış kırılma etkisiyle açıklanır. Elektromanyetik dalgaların yağmur doğrultusunda kırılmaya uğramasından dolayı baz istasyonu çevresindeki değerlerde artış gözlemlenmiştir.

Tablo 4.5: Balıkesir toki baz istasyonu 1.sektör ölçümleri

Anten Sektör(1)	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m ²)	Ölçüm saati
33 m açık alan içerisi	33 m	2,74	0,01877	10:20 10:26
34 m sol açık alan içerisi	34 m	2,48	0,01538	10:27 10:33
34 m sağ açık alan içerisi	34 m	2,56	0,01638	10:34 10:40

Tablo 4.6: Balıkesir toki baz istasyonu 2.sektör ölçümleri

Anten Sektör(2)	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m ²)	Ölçüm saati
27 m toki yol kenarı	27 m	3,28	0,02690	10:42 10:48
28 m toki yol kenarı	28 m	3,19	0,02544	10:49 10:55
28 m toki yol kenarı	28 m	3,04	0,02310	10:56 11:02

Tablo 4.7: Balıkesir toki baz istasyonu 3. sektör ölçümleri

Anten Sektör(3)	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m ²)	Ölçüm saati
33 m halı yıkama	33 m	2,82	0,01988	11:04 11:10
34 m sol halı yıkama	34 m	2,63	0,01729	11:11 11:17
34 m sağ halı yıkama	34 m	2,79	0,01946	11:18 11:24

Yapılan ölçümler neticesinde elde edilen veriler ülkemizde kullanılan sınır değerlerce uygundur. İnsan sağlığını etkileyecek boyutlarda elektrik alan şiddetiyle karşılaşmamıştır. Baz istasyonundaki revizyon sonunda, sistem BTK kriterlerini sağladığı için çalışmasına devam edebilecek yeterlidir.

4.4.3 Balıkesir Doğumevi Baz İstasyonu

Altıeylül mahallesi çiğdem sokak no: 28 Altıeylül/BALIKESİR adresindeki Türk Telekom şirketine ait çatı tipi baz istasyonu anten yön ve yükseklik revizyonu için BTK'ya başvurmuştur. Yapılan bu değişiklik antenin eski konumunda yeteri kadar verim alınamamasından kaynaklanmıştır. Yeni yönüyle kullanıcılara daha iyi hizmet vereceği düşünülen antenler kullanılmıştır. 3 sektör bulunan baz istasyonunda sektör özellikleri Tablo 4.8'de sıralanmıştır:

Tablo 4.8: Balıkesir doğumevi baz istasyonu anten özellikleri

MODEL	RBS 6201	RBS 6201	RBS 6201
Frekans	2100 MHz	2100 MHz	2100 MHz
	SEKTOR 1	SEKTOR 2	SEKTOR 3
Çıkış Gücü watt	1,823	1,823	1,823
Anten Kazancı	18 dBi	18 dBi	18 dBi
Anten Tipi	K 800 10510	K 800 10510	AQU4517R4
Anten Yüksekliği	17,7 m	17,7 m	17,5 m
Güvenlik Mesafesi	4,351 m	4,351 m	4,107 m



Şekil 4.14: Balıkesir doğumevi Baz istasyonu antenleri

Baz istasyonu revizyonu sonunda ölçümler yapıldı. Ölçümler yapılırken çatıdaki antenlere ulaşım sağlanamadığı raporlarda belirtilmiştir. Böyle ölçümlerde tutulan raporlarda ölçüm yapılan yerin tam noktası çok önem arz etmektedir. 3 sektör ölçümleri yağmur altında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.9: Balıkesir doğumevi baz istasyonu 1.sektör ölçümleri

Anten Sektör(1)	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu W/m ²	Ölçüm saati
Çiğdem sok no:26 çatı	17 m	5,38	0,07236	11:45 11:51
Çiğdem sok no:26 çatı	18 m	5,42	0,07344	11:52 11:58
Çiğdem sok no:26 zemin	27 m	2,73	0,01863	12:05 12:11

Tablo 4.10: Balıkesir doğumevi baz istasyonu 2.sektör ölçümleri

Anten Sektör(2)	Antene uzaklık	ÖlçülenEA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu	Ölçüm saati
Uzun döşeme –Çiğdem sk	22 m	3,45	0,02976	12:13 12:19
Çiğdem sok Netcom önü	23 m	2,91	0,02117	12:21 12:27
Kıraathane önü	21 m	2,86	0,02045	12:28 12:34

Tablo 4.11: Balıkesir doğumevi baz istasyonu 3.sektör ölçümleri

Anten Sektör(3)	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu	Ölçüm saati
Alperen apt no:45 Çatı	16 m	3,94	0,03881	12:45 12:51
Alperen apt no:45 Çatı	16 m	3,27	0,02673	12:52 12:58
Alperen apt no:45 Çatı	17 m	3,84	0,03744	12:59 13:05

Yapılan revizyon sonucunda ölçülen değerler sınır değerleri aşmadığı için halk sağlığına etki etmediği gözlenmiştir. Yasal değerlere uyan bu baz istasyonu çalışmaya ve kullanıcılara hizmet etmeye devam edecektir.

4.4.4 Burhaniye Ören Baz İstasyonu

Öğretmenler mahallesi iskele ören pafta: 274 parsel: 07 Burhaniye/BALIKESİR adresindeki Vodafone telekomünikasyon şirketine ait baz istasyonu anten eğimi değişikliğiyle BTK'ya başvurmuştur. Yapılan anten eğim değişimi mekanik dişli çark mekanizmasıyla yapılmaktadır. Bu sayede anten konum değişikliğinden oluşan sinyal kaybının azaltılması amaçlanmıştır. Anten eğimi, 15 – 20 metre arasındaki yüksekliklerde 2 cm iken 20 metreyi aşan yüksekliklerde anten eğimi 5 cm'ye kadar çıkmaktadır. Eğim sayesinde baz istasyonundan daha alçak yüksekliklerdeki kullanıcıların iyi sinyal alabilmesi sağlanır. İki revizyona tabi tutulan, sektör özellikleri ve ölçüm sonuçları Tablo 4.12'deki gibidir:



Şekil 4.15: Burhaniye ören baz istasyonu

Tablo 4.12: Burhaniye ören baz İstasyonu anten özellikleri

MODEL	DBS3900	DBS3900	DBS3900
Frekans	800 MHz	800 MHz	800 MHz
	SEKTÖR 1	SEKTÖR 2	SEKTÖR 3
Çıkış Gücü	5 watt	5 watt	5 watt
Anten Kazancı	16 dBi	16 dBi	16 dBi
Anten Tipi	K 800 10685	K 800 10685	K 800 10685
Anten Yüksekliği	25 m	25 m	25 m
Güvenlik Mesafesi	8,95 m	8,95 m	8,95 m

Tablo 4.13: Burhaniye ören baz istasyonu 1.sektör ölçümleri

Anten Sektör(1)	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m²)	Ölçüm saati
Dere kenarı açık alan	36 m	2,03	0,01030	14:00 14:06
Dere kenarı biraz solu	37 m	1,84	0,08446	14:07 14:13
Dere kenarı biraz sağ	37 m	2,08	0,01082	14:14 14:20

Tablo 4.14: Burhaniye ören baz istasyonu 2. sektör ölçümleri

Anten Sektör(2)	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m²)	Ölçüm saati
Ören TT bahçesi	36 m	2,17	0,01177	14:25 14:31
Ören TT bahçesi	37 m	1,96	0,00960	14:32 14:38
Ören TT bahçesi	37 m	2,05	0,01051	14:40 14:46

Tablo 4.15: Burhaniye ören baz istasyonu 3. sektör ölçümleri

Anten Sektör(3)	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m ²)	Ölçüm saati
Açık alan	36 m	2,41	0,01452	14:50 14:56
Açık alan	37 m	2,35	0,01381	14:58 15:04
Açık alan	37 m	1,74	0,00757	15:06 15:12

Yapılan revizyon sonucunda elde edilen sektör değerleri BTK sınır değerlerine uyduğu görülmüştür. Baz istasyonu çalışmasına devam edebilecek yeterliktedir.

4.4.5 Sarımsaklı Sahili Baz İstasyonu

Küçükköy mahallesi Atatürk bulvarı no: 116 billurcu otel Ayvalık/BALIKESİR adresindeki Türk Telekom'a ait baz istasyonu anten revizyonu için BTK'ya başvurmuştur. 900 GHz frekansında, 2,970 watt gücünde, 14 dBi anten kazancına sahip ASI4518R11 tipindeki anten yerden 22,2 metre yukarıya yerleştirilmiştir. Güvenlik mesafesi 5,170 metre olarak hesaplanmıştır. Bu baz istasyonunun revizyon sonrası ölçüm değerleri Tablo 4.16'da gösterilmiştir:



Şekil 4.16: Sarımsaklı baz istasyonu gizleme anten

Tablo 4.16: Sarımsaklı sahili baz istasyonu ölçümleri

Anten Sektör	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m ²)	Ölçüm saati
Otel içi havuz kenarı(S1)	35 m	1,93	0,0091	14:00 14:06
Otel içi havuz kenarı(S1)	36 m	1,47	0,00540	14:07 14:13
Otel içi havuz kenarı(S1)	36 m	2,06	0,01061	14:14 14:20
Otel içi havuz kenarı(S2)	35 m	1,95	0,00951	14:21 14:27
Otel içi havuz kenarı(S2)	36 m	2,03	0,01030	14:28 14:34
Otel içi havuz kenarı(S2)	36 m	1,84	0,00846	14:35 14:41
Aydın apt no:2 çatısı(S3)	24 m	3,18	0,02528	14:54 15:00
Aydın apt no:2 çatısı(S3)	25 m	2,92	0,02132	15:07 15:13
Aydın apt no:2 çatısı(S3)	25 m	1,38	0,00476	15:14 15:20

4.4.6 Balıkesir Pamukçu Baz İstasyonu

Balıkesir İzmir yolu 10.km ada: 201 parsel: 2 Altıeylül/BALIKESİR adresindeki Türk Telekom'a ait baz istasyonunda anten revizyonu başvurusu yapılmıştır. Başvuru kapsamında 2100 GHz frekansta, 28,86 watt çıkış gücünde, 17dBi anten kazancına sahip 3 antenin 46,5 metreye kurulumu yapılmıştır. Bu revizyonlar sonucu elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 4.17'de gösterilmiştir. Yapılan ölçüm sonucunda elde edilen değerlerin sınır değerlerin altında yer aldığı görülmüştür. Tutulan raporda ölçüm sonuçlarına ek olarak, kırsal alandaki bu baz istasyonunun tel şeritle çevrilmesi gerektiği belirtildi.

Tablo 4.17: Balıkesir pamukçu baz istasyonu ölçümleri

Anten Sektör	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m²)	Ölçüm saati
Ahır avlusu içerisi(S1)	58 m	1,18	0,00348	12:10 12:16
Ahır avlusu içerisi(S1)	58 m	1,03	0,00265	12:17 12:23
Ahır avlusu içerisi(S1)	60 m	1,13	0,00319	12:24 12:30
Açık alan otlaklık(S2)	58 m	1,13	0,00319	12:32 12:38
Açık alan otlaklık(S2)	58 m	1,08	0,00292	12:39 12:45
Açık alan otlaklık(S2)	60 m	1,04	0,00270	12:46 12:52
Açık alan otlaklık(S3)	58 m	0,94	0,00221	12:54 13:00
Açık alan otlaklık(S3)	58 m	1,01	0,00255	13:07 13:13
Açık alan otlaklık(S3)	60 m	0,91	0,00207	13:14 13:20

4.4.7 Balıkesir Selimiye Köyü Baz İstasyonu

Taşagül mevki ada: 165 parsel: 1 Selimiye köyü/BALIKESİR adresindeki Türkcell telekomünikasyon şirketine ait baz istasyonu K742264V01/02 anten tipinde revizyon gerçekleştirilmiştir. 2100 GHz frekansında 39,99 watt çıkış gücüne sahip anten eğimleri değiştirilmiştir. 17,5 dBi anten kazancına sahip antenler yerden 68,7 metre yüksekte ve güvenlik alanı 19,240 metredir. Yapılan değişikliklerden sonra ölçümler Tablo 4.18’de gösterilmiştir. Çok yüksek anten kulesi kullanıldığı için güvenlik mesafesi kapsamında herhangi yaşam alanı olması mümkün değildir. Kırsal alanlarda yerleşim birimlerine sinyal erişimi sağlanabilmesi için yüksek anten kuleleri kullanılmaktadır. Yıldırım riskinin yüksek olduğu bu kulelerin topraklamaları her ay düzenli bir şekilde kontrol edilmektedir.

Tablo 4.18: Balıkesir selimiye köyü baz istasyonu ölçümleri

Anten Sektör	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m ²)	Ölçüm saati
Açık alan cepesi(S1)	84 m	0,76	0,00144	20:10 20:16
Açık alan sol tarafı(S1)	85 m	0,72	0,00133	20:17 20:23
Açık alan sağ tarafı(S1)	85 m	0,71	0,00126	20:24 20:30
Açık alan cepesi(S2)	84 m	0,73	0,00133	20:32 20:38
Açık alan sol tarafı(S2)	85 m	0,64	0,00102	20:39 20:45
Açık alan sağ tarafı(S2)	85 m	0,69	0,00119	20:46 20:52
Açık alan cepesi(S3)	84 m	0,97	0,00235	20:54 21:00
Açık alan sol tarafı(S3)	85 m	0,86	0,00185	21:07 21:13
Açık alan sağ tarafı(S3)	85 m	0,93	0,00216	21:14 21:20

4.4.8 Balıkesir Yayıda Alışveriş Merkezi Baz İstasyonu

Yayıda alışveriş merkezi içerisinde Türkc cell şirketine ait 21 tane baz istasyonu anteni mevcuttur. Bu antenlerin 4 tanesi revizyon kapsamında yer değişikliği talebinde bulunulmuştur. Bodrum kat Teknosa girişi, zemin kat Migros önü, 1. Kat sinema önü ve 2.sektör bu değişikliklerin yapılacağı antenlerdir. Toplu yaşam alanlarındaki uygulanan güvenlik mesafeleri, normal güvenlik mesafesi hesabından farklıdır. Hesaplamalarda tavan tipi antenler için çatı tipi antenlerin 1/5'i oranında güvenlik mesafesi kullanılır. Bu güvenlik mesafeleri Tablo 4.19'da 0.189 metre olarak gösterilmiştir. Standart konut tavanlarından daha yüksek tasarlanan, toplu yaşam merkezi tavanlarına yerleştirilen antenler bu güvenlik mesafeleri hesaplanarak uç noktalara konmaktadır.



Şekil 4.17: Yaylada avm sinema girişı anteni



Şekil 4.18: Yaylada avm migros giriş anteni



Şekil 4.19: Yaylada avm teknosa giriş anteni

Yaylada alışveriş merkezindeki revizyona tabi bu 4 antenin özellikleri şöyle sıralanmıştır.

Tablo 4.19: Yaylada avm revizyona giren antenlerin özellikleri

Frekans	1800 MHz	1800 MHz	1800 MHz	1800 MHz
	TEKNOSA	MİGROS	SİNEMA	SEKTÖR2
Çıkış Gücü watt	0,126	0,126	0,126	30
Anten Kazancı	2 dBi	2 dBi	2 dBi	17,4 dBi
Anten Tipi	K 800 10137	K 800 10137	K 800 10137	ODI-065R1
Anten Yüksekliği	3,7 m	3,5 m	3,5 m	21,5 m
Güvenlik Mesafesi	0,189 m	0,189 m	0,189 m	17,186 m

Yaylada alışveriş merkezi insanların çok sık gittiği bir yer olduğu için, en yüksek güvenlik mesafeleri uygulanmıştır. Bu mesafeler ışığında yapılan ölçümler Tablo 4.20 de gösterilmiştir.

Tablo 4.20: Balıkesir yaylada avm baz istasyonu ölçümleri

Anten Sektör	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m²)	Ölçüm saati
Teknosa önü	1,8 m	3,42	0,03102	20:00 20:06
Teknosa önü sol	2 m	3,37	0,03012	20:07 20:13
Teknosa önü sağ	2 m	3,34	0,02954	20:14 20:20
Migros önü	1,7 m	2,39	0,01592	20:32 20:38
Migros önü sol	1,9 m	2,32	0,01542	20:39 20:45
Migros önü sağ	1,9 m	2,37	0,01490	20:46 20:52
Sinema önü	1,7 m	2,38	0,01502	21:00 21:06
Sinema önü sol	1,9 m	2,18	0,01261	21:07 21:13
Sinema önü sağ	1,9 m	2,25	0,01343	21:14 21:20
Sektör2	33 m	1,37	0,00498	21:40 21:46
Sektör2	34 m	1,18	0,00369	21:47 21:53
Sektör2	34 m	1,32	0,00462	21:54 22:00

Yaylada alışveriş merkezinde yapılan tüm ölçümler BTK'nın sınır değerlerine uygundur.Yapılan tüm revizyonlar BTK onamını almıştır ve çalışmasını sürdürmektedir.

4.4.9 Ayvalık Alibey Adası Baz İstasyonu

Alibey adası TRT vericiler mevki Ayvalık / BALIKESİR adresindeki baz istasyonu antenleri TRT verici kulesine monte edilmiştir. Bu antenler yoğunluklu kullanıcılara hitaben yön revizyonu isteğinde bulunmuştur. Yön revizyonu yapılan sektörler ölçümlerle incelenmiştir.

Tablo 4.21: Ayvalık alibey adası baz istasyonu anten özellikleri

MODEL	DBS3900	DBS3900	DBS3900
Frekans	1800 MHz	1800 MHz	1800 MHz
	SEKTOR 1	SEKTOR 2	SEKTOR 3
Çıkış Gücü watt	5	5	5
Anten Kazancı	18 dBi	18 dBi	18 dBi
Anten Tipi	K 800 10805	K 800 10805	K 800 10805
Anten Yüksekliği	33 m	33 m	33 m
Güvenlik Mesafesi	7,52 m	7,52 m	7,52 m



Şekil 4.20: Ayvalık alibey adası baz istasyonu

Tablo 4.22: Ayvalık alibey adası baz istasyonu ölçümleri

Anten Sektör	Antene uzaklık	Ölçülen EA (V/m)	Ölçülen güç yoğunluğu(W/m²)	Ölçüm saati
TRT vericiler bölgesi(S1)	46 m	3,72	0,03460	14.00 14.06
TRT vericiler bölgesi(S1)	47 m	3,28	0,02690	14:07 14:13
TRT vericiler bölgesi(S1)	47 m	3,76	0,03534	14.14 14:20
TRT vericiler bölgesi(S2)	46 m	3,46	0,02993	14:22 14:28
TRT vericiler bölgesi(S2)	47 m	3,32	0,02756	14.30 14.36
TRT vericiler bölgesi(S2)	47 m	2,94	0,02161	14.40 14:46
TRT vericiler bölgesi(S3)	46 m	3,73	0,01861	14:50 14:56
TRT vericiler bölgesi(S3)	47 m	2,38	0,01461	15.00 15.06
TRT vericiler bölgesi(S3)	47 m	2,14	0,01145	15.08 15:14

Operatörlerin kullanıcı analizlerine göre yaptığı çalışmalar sonucu antenlerin yönleri kullanıcıların yoğunlukta olduğu bölgelere çevrilmiştir. Tüm operatörlere ait antenlerin kule üzerinde aynı alanlarda toplanmaları bu eski kulede denge kaybı yaratabileceği raporlarda belirtilmiştir. Bu revizyon çalışması sonucunda yapılan ölçümlerden baz istasyonu geçerli not almıştır. Yapılan ölçümler sonucu; BTK'ya gönderilen raporların onaylanmasıyla baz istasyonu güvenlik sertifikasını almış ve çalışmasında hiç bir engel görülmemiştir.

4.5 Elektrik Alan Ölçüm Cihazı

Bu çalışmamda kullanılan ölçüm cihazı Narda firmasına ait EMR-300 modelidir. Bu cihazın, BTK tarafından 11.10.2016 tarihinde, kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibre edilmemiş hiçbir cihazın ölçüm yapma yetkisi yoktur.

EMR-300 cihazı kendisine eklenen problar sayesinde farklı frekans bandlarında ölçüm sonuçları almaktadır. 3000 değere kadar hafızasında tutabilecek ölçüm gerçekleştirebilir. 100 kHz'den 50 GHz'e kadar ölçüm yapabilecek 7 farklı prob takılabilir. Tezin kapsamı gereği kablosuz iletişim ağları incelendiği için bu frekanslarda ölçüm yapılabilen prob seçildi. P/N2244/90.73 tipli prob 100 kHz-3GHz aralığında ölçüm değerleri alabilmektedir. Probların uç kısmında onları ortam koşullarından koruyan sünger başlık bulunmaktadır. Bu başlık probun ucundaki reseptörleri darbelerden, tozdan ve bir çok etkiden korumaktadır [10].



Şekil 4.21: Narda EMR-300 cihazı ve P/N2244/90.73 tipli prob

BTK, yasal ölçümler için, şirketlere belirli frekanslarda ölçüm yapmalarına izin vermektedir. Geniş band aralığında ölçüm yapıldığı için, TV ve radyo verici sinyalleri, GSM ve radar sinyalleri cihazımızla algılanabilir.

Bir çok yayın yapılan ortamların izole edilmesi için cihaz üzerinden kullanacağımız frekansı seçebiliyoruz ve böylece cihazın çeşitli sinyallerden etkilenmesi engelleniyor. Alınan ölçüm değerleri 3000'den fazla olduğu zaman cihazımızı bilgisayarımıza EMR-TS yazılımıyla bu değerlerimizi kaydedebiliyoruz. Baz istasyonlarındaki 6 dakikalık ölçümler sonucunda ortalama değer ekranda gözükmemektedir. Ekran yenileme oranı 400 ms değerinde olup 320 V/m'ye kadar elektrik alan değeri ölçülebilir [10].

Tablo 4.23: Narda EMR-300 cihazı ve P/N2244/90.73 tipli prob özellikleri

EKRAN CİNSİ	LCD
BASAMAK	4 ^{1/2}
ÇÖZÜNÜRLÜK	0.01 V/m 0.0001 A/m
PROB MODELİ	P/N2244/90.73
FREKANS ARALIĞI	100 kHz – 3GHz
ÖLÇÜM ARALIĞI	0.2 V/m – 320 V/m
FREKANS HASSASİYETİ	100 kHz-100MHz 1.2 GHz-2.5 GHz 3 GHz

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Balıkesir ili kapsamında baz istasyonlarının BTK onaylı cihazlarla incelenmesi gerçekleştirildi. Elde edilen değerlerin, ülkemizdeki uygulanan sınır değerlere uygunluğu incelendi.

50 baz istasyonunda yapılan ölçümler sonucunda, baz istasyonlarının BTK'nın ülkemizde uygulanmasını istediği değerlerin üzerinde hiç bir değerle karşılaşılmamıştır. Bu değerler ulusal değerlerin yanısıra uluslararası değerlerin de çok altındadır. Bu tez çalışmasındaki ölçüm sonuçları, aynı baz istasyonlarına ait daha önceki ölçümler ile karşılaştırıldı. Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda ölçüm sonuçlarının doğruluğu incelenmiştir. Bunun yanısıra baz istasyonlarının insanlar üzerinde psikolojik baskılar oluşturduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bu psikolojik baskıların önüne geçmek için bireysel gizleme sistemleri kurulmuştur. Böylece insanlar yaşadıkları ortamlarda baz istasyonlarının rahatsız edici görüntüsünden etkilenmemesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Baz istasyonları çeşitli şekillerle gizlenebilir: Su deposu, baca, güneş paneli veya tabelalarla bu gizlemeler yapılır ve bu şekilde gizlemelerle insanlar üzerindeki psikolojik etkileri biraz daha olsa azaltılabilir.



Şekil 5.1: Balıkesir ilinde bazı baz istasyonlarının gizleme şekilleri



Şekil 5.2: Balıkesir ilinde bazı baz istasyonlarını gizleme şekilleri

Denetlenen tüm baz istasyonları geçerli not alsalar da elektromanyetik radyasyonun insanlar üzerindeki bir çok etkisi tartışılmaz derecededir. Bu yüzden insanların elektromanyetik radyasyon konusunda bilinçlendirilmesi hatta konu hakkında yasal hakları öğretilmelidir.

Elektromanyetik etkilerden korunulması için herkes üzerine düşen görevi yerine getirmelidir. Bireysel önlemler alınmak istenirse şunlar yapılmalıdır:

- Yatak odalarında elektrikle çalışan tüm cihazlar uyku öncesinde kapatılmalıdır. Elektromanyetik dalgaların uyku düzenimizi bozmasına izin verilmemelidir.
- Cep telefonu alırken SAR değeri düşük olanlar tercih edilmelidir.
- 10 dakikalık telefon görüşmelerinin üzerine çıkılmamalıdır. Yapılan tüm görüşmelerin tek kulaklıkla yapılması tavsiye edilir.
- Bulduğumuz yerlerdeki baz istasyonlarda yasa dışı bir işlem dikkatinizi çekerse yetkili mercilere haber verilmelidir.
- Gereksiz hiç bir elektrikli aletin çalışmasına izin verilmemeli veya elektrikle bağlantısı kesilmelidir.
- Cep telefonlarını taşırken kalp hizasında taşımamaya dikkat edilmelidir.
- Elektromanyetik alanların etkileri araştırılıp bilinçlenme sağlanmalıdır.

Bireysel önlemlerin yanı sıra kurumsal önlemler de alınmalıdır. Bu önlemler şu şekilde sıralanmıştır:

- Toplumun elektromanyetik alan etkileri konusunda bilinçlendirecek kamu spotları yayınlamalıdır.
- Uluslararası sınır değerlerle ulusal sınır değerlerimiz sürekli karşılaştırılıp yeni gelişmelerden açık olunmalıdır.
- Elektromanyetik alanların etkilerini konu alan bilimsel çalışmalar desteklenmelidir.
- Baz istasyonlarına yapılacak bir otomasyon sistemiyle halk herhangi bir istasyonunun çalışma değerleri anlık görebilmelidir.
- Okul, hastane ve toplu yaşam merkezlerinde periyodik ölçümler yapılmalıdır.
- Tüm haberleşme cihazlarının üzerinde sarı değerleri yazılmalıdır.
- Üniversiteler gibi bilimsel çalışmalara öncülük eden kuruluşlara ölçüm yapabilme yetkisi verilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Çerezci, O., Kartal, Z., Pala, K. ve Türkkan, A., *Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri*, Bursa: F. Özsan Matbaacılık, (2012).
- [2] Mustafa, C., “50 Hz Şebeke Frekansında Elektrik ve Manyetik Alan Şiddetlerinin Ölçülmesi ve Ölçüm Sonuçlarının ICNIRP’nin Halk Maruziyeti Limitlerine Göre Karşılaştırılması ”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, (2014)
- [3] Polat, A.Ö.,”Karaman İli Şehir Merkezi Ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesi’nin Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Mersin, (2013).
- [4] Tekintanğaç,Y.,”Cep Telefonları Tarafından Oluşturulan Elektromanyetik Alanın Kobay EKG’sı Üzerine Etkisi”,Yüksek Lisans Tezi,*Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*,Van, (2006)
- [5] İlhan, M.N., “Bir Tıp Fakültesi Hastanesinde Elektromanyetik Alan Haritası Çıkarılması ve Sağlık Çalışanlarında Sağlık Etkilerinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2008).
- [6] Elhasoğlu, D., “Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2006).
- [7] Paksoy K.,” Elektromanyetik Kirlilik, Etkileri, Korunma ve Yararlanma Yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (2001).
- [8] Coşkun, Ö., Çömlekçi, S., Nazıroğlu, M. ve Özkorucuklu, S., “Manyetik Alanın Sıçanlardaki Sinir İletim Parametrelerine Etkileri”, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2): 186-192, (2009).

- [9] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik”, (2015).
- [10] Narda,”EMR-300 Ölçüm Cihazı Kullanım Özellikleri ve İncelenmesi”, http://www.nardasts.us/pdf_files/DataSheets/EMR300_DataSheet_discontinued.pdf, (2015).
- [11] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,”İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik”, (2015).
- [12] Wikipedia,”Elektromanyetik, tayf cetveli incelemesi,[online]”,(15.09.2016), http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_tayf , (2005).
- [13] C.A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New York: John Wiley&Sons. Inc.,, pp. 133-202, (1997).
- [14] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, “ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz)”, *Health Phys.*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, (1998).
- [15] Önal, E., “Elektromanyetik Alanların Canlı Organizmalara Etkilerinin İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, (2005).
- [16] Alper, K., “Balıkesir İli Şehir Merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nin Elektromanyetik Alan Haritası”. Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, (2015).
- [17] Cansız, M., “Diyarbakır il Merkezinin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması Ve Durum Değerlendirilmesi”. Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, (2010).