

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

MUNZUR ÜNİVERSİTESİ AKTULUK YERLEŞKESİNİN
ELEKTROMANYETİK ALAN HARİTASININ
ÇIKARILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aziz Eren ÖZTÜRK

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

DANIŞMAN
Prof. Dr. Muzaffer AŞKIN

TUNCELİ – 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MUNZUR ÜNİVERSİTESİ AKTULUK YERLEŞKESİNİN ELEKTROMANYETİK
ALAN HARİTASININ ÇIKARILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aziz Eren ÖZTÜRK
(161103101)

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

DANIŞMAN
Prof. Dr. Muzaffer AŞKIN

TUNCELİ – 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MUNZUR ÜNİVERSİTESİ AKTULUK YERLEŞKESİNİN ELEKTROMANYETİK
ALAN HARİTASININ ÇIKARILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Aziz Eren ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez / / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

Prof. Dr. Muzaffer AŞKIN
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:.....

Prof. Dr. Ali HAVARE
(Mersin Üniversitesi)

ÜYE

İmza:.....

Dr. Öğr. Üyesi Bilgin
ZENGİN
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Numan YILDIRIM
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: YLMUB018-03

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Bu tez çalışmasının amacı Munzur Üniversitesi Aktuluk Yerleşkesi'nin elektromanyetik alan kirliliği konusu ile ilgili bilgi edinmektir. Bu kapsamda yerleşke içerisinde belirli noktalarda elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sırasında 10 Mhz - 8 Ghz bant aralığında çalışan yüksek frekanslı elektromanyetik alan ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde elde edilen değerler Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) ve ulusal kuruluş olan Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından belirlenen limit değerlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın devamında elde edilen ölçüm değerleri harita üzerinde renkli olarak belirtilerek yerleşke içerisindeki elektromanyetik alan kirlilik düzeyleri görsel olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Munzur Üniversitesi, Elektromanyetik Alan, Harita

ABSTRACT

Development and Evaluation of Electromagnetic Field Map of Munzur University Aktuluk Campus

The purpose of this thesis study is to obtain information about the electromagnetic field pollution of the Aktuluk Campus of Munzur University. In this context, electromagnetic field measurements were made at certain points within the campus. During the measurements, an electromagnetic field meter (high frequency) operating in the 10 MHz - 8 Ghz band range was used. The values obtained in the measurements were compared with the limit values determined by the International Non-Ionizing Radiation Protection Commission (ICNIRP) and the national organization Information Technologies and Communication Authority (BTK). The measurement values of the electromagnetic fields in the campus are presented visually.

Keywords: Munzur University, Electromagnetic Field, Map

TEŞEKKÜRLER

Tez çalışması süreci boyunca benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, iyi niyetini ve hoşgörüsünü her zaman üzerimde hissettiğim danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muzaffer AŞKIN'a teşekkür ederim.

Yaklaşık olarak iki yıl süren yüksek lisans eğitimimin her aşamasında en yoğun iş temposunun olduğu günlerde dahi fikirleriyle, katkılarıyla bana her zaman destek olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Bilgin ZENGİN'e ve teknik konularda yaşadığım bazı problemlerin çözümünde gerek telefon gerekse mail görüşmeleriyle yardımlarını esirgemeyen lisans eğitimi bitirme projesinde danışman hocam olan Sayın Öğr. Gör. Dr. Mustafa CANSIZ'a teşekkür ederim.

Araştırmayı maddi yönden destekleyen Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (MUNİBAP) birimine ve bu birimde görevli personellerden Sayın Suna ŞAHİN ve Serkan KOÇKAYA'ya göstermiş oldukları yakın ilgiden dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Aziz Eren ÖZTÜRK
TUNCELİ – 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması.....	5
1.2. Elektromanyetik Alan Hakkında Genel Bilgiler.....	10
1.2.1. Alan.....	12
1.2.2. Elektrik Alan.....	12
1.2.3. Manyetik Alan.....	17
1.2.4. Maxwell Denklemleri.....	26
1.2.5. Dalga.....	28
1.2.6. Elektromanyetik Alan.....	29
1.2.7. Elektromanyetik Spektrum.....	33
1.2.7.1. Radyo frekans spektrumu.....	35
1.2.8. Radyasyon Çeşitleri.....	37
1.2.8.1. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	38
1.2.8.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon.....	41
1.2.9. Elektromanyetik Dalgaların Vücutta Soğurulması.....	42
1.2.10. Özgül Soğurma Oranı (SAR-Specific Absorption Rate).....	43
1.2.11. Elektromanyetik Dalga Polarizasyonu.....	45
1.3. Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerleri.....	46
1.4. Elektromanyetik Alanların Sağlığa Etkileri.....	49
1.4.1. Frekanslar.....	52
1.4.1.1. Düşük Frekanslar.....	52
1.4.1.2. Yüksek Frekanslar.....	54
2. MATERYAL ve METOT.....	56
2.1 Kullanılan Ekipmanlar.....	56
2.1.1. Geniş Bantlı Elektromanyetik Alan Ölçer.....	56
2.1.2. GPS.....	57
2.1.3. Tripod.....	58
2.2. Kullanılan Yöntemler.....	58
3. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	62
3.1. Elektromanyetik Alan Ölçüm Sonuçları.....	62
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	91

SEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Bir elektromanyetik dalganın manyetik alan ve elektrik alan vektörel sinüzoidal gösterimi	11
Şekil 1.2. Elektrik alan çizgileri	13
Şekil 1.3. Elektrik alana bırakılan artı yüklü ve eksi yüklü parçacıkların hareketi	14
Şekil 1.4. Gauss yüzeyinden çıkan elektrik akı	15
Şekil 1.5. Elektrik alan yoğunluğu ve elektriksel yük arasındaki orantı	16
Şekil 1.6. Kapalı konumdaki elektrikli cihazın yaydığı elektrik alan.....	16
Şekil 1.7. Elektriksel alan çizgileri kuralları	17
Şekil 1.8. Manyetik alan çizgileri	18
Şekil 1.9. Manyetik alan çizgilerinin demir tozları ile gösterilmesi	19
Şekil 1.10. Aynı yüklü kutupların birbirlerine uyguladıkları itme kuvveti gösterimi	19
Şekil 1.11. Farklı yüklü kutupların birbirlerine uyguladıkları çekme kuvveti gösterimi	20
Şekil 1.12. Sağ el kuralı ile manyetik alan yönünün bulunması	20
Şekil 1.13. Hareketli bir elektronun manyetik alan çizgileri	21
Şekil 1.14. DC akım akan iletkenin oluşturduğu manyetik alan çizgileri	21
Şekil 1.15. Bir koaksiyel (eş eksenli) kablo.....	23
Şekil 1.16. Elektrik alan ve manyetik alanın karşılaştırılması	24
Şekil 1.17. Elektrik alan ve manyetik alanın bilgisayardan yayılışı	26
Şekil 1.18. Dalga ve özellikleri	28
Şekil 1.19. Bir TEM dalgasının üç boyutlu değişimi	30
Şekil 1.20. Bir TEM dalgasının, E alanı bileşenin değişimi	31
Şekil 1.21. Elektromanyetik dalga kaynakları	32
Şekil 1.22. Elektromanyetik Spektrum	34
Şekil 1.23. EM Spektrumun bölümleri ve radyo frekans spektrumu.....	36
Şekil 1.24. Atmosferin hangi dalga boylarını geçirip hangilerini bloke ettiğini özetler bir ilüstrasyon	37
Şekil 1.25. Alfa parçacığı	39
Şekil 1.26. Pozitif yüklü iyon oluşumu	40
Şekil 1.27. Negatif yüklü iyon oluşumu	40
Şekil 1.28. Cihazların elektromanyetik spektrumda gösterilmesi	42
Şekil 2.1. Extech 480846 8 GHz RF elektromanyetik alan ölçüm cihazı.....	56
Şekil 2.2. Garmin eTrex 20x GPS	57
Şekil 2.3. Tripod.....	58
Şekil 2.4. Üniversite yerleşkesinde ölçüm yapılan noktalar	59
Şekil 2.5. Ölçüm sonuçlarına ilişkin grafik	60
Şekil 2.6. Ölçüm düzeneği.....	60
Şekil 2.7. Elektromanyetik alan haritasında kullanılan lejant	61
Şekil 3.1. Baz istasyonunun olduğu bölge	62
Şekil 3.2. 01.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	68
Şekil 3.3. 01.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	68

Şekil 3.4. 01.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	68
Şekil 3.5. 01.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	69
Şekil 3.6. 01.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	69
Şekil 3.7. 01.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	69
Şekil 3.8. 02.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	70
Şekil 3.9. 02.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	70
Şekil 3.10. 02.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	70
Şekil 3.11. 02.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	71
Şekil 3.12. 02.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	71
Şekil 3.13. 02.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	71
Şekil 3.14. 03.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	72
Şekil 3.15. 03.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	72
Şekil 3.16. 03.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	72
Şekil 3.17. 03.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	73
Şekil 3.18. 03.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	73
Şekil 3.19. 03.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	73
Şekil 3.20. 04.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	74
Şekil 3.21. 04.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	74
Şekil 3.22. 04.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	74
Şekil 3.23. 04.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	75
Şekil 3.24. 04.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	75
Şekil 3.25. 04.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	75
Şekil 3.26. 05.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	76
Şekil 3.27. 05.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	76

Şekil 3.28. 05.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	76
Şekil 3.29. 05.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	77
Şekil 3.30. 05.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	77
Şekil 3.31. 05.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	77
Şekil 3.32. 06.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	78
Şekil 3.33. 06.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	78
Şekil 3.34. 06.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	78
Şekil 3.35. 06.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	79
Şekil 3.36. 06.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	79
Şekil 3.37. 06.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	79
Şekil 3.38. 07.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	80
Şekil 3.39. 07.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	80
Şekil 3.40. 07.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	80
Şekil 3.41. 07.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası.....	81
Şekil 3.42. 07.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan bar grafiği.....	81
Şekil 3.43. 07.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerlerle oluşturulan pasta grafiği.....	81

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Bazı malzemelerin μ_r değerleri	22
Tablo 1.2. Elektrik alan ile manyetik alanın karşılaştırılması	25
Tablo 1.3. Maxwell denklemlerinin diferansiyel ve integral gösterimi	27
Tablo 1.4. Radyo frekans bantlarının kullanım alanına göre sınıflandırılması..	35
Tablo 1.5. 10 Ghz'e kadar frekanslar için zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlar için temel sınırlamalar.....	47
Tablo 1.6. 10-300 Ghz arası güç yoğunluğu için temel sınırlamalar.....	47
Tablo 1.7. Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlara mesleki maruziyet referans seviyeleri	48
Tablo 1.8. Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlara halk maruziyeti referans seviyeleri.....	48
Tablo 1.9. Ortam ve tek cihaz için belirlenen elektrik alan şiddeti limit değerleri.....	49
Tablo 2.1. Ölçüm yapılan noktalara ait koordinat bilgileri.....	59
Tablo 3.1. 01.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler.....	64
Tablo 3.2. 02.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler.....	65
Tablo 3.3. 03.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler.....	65
Tablo 3.4. 04.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler.....	66
Tablo 3.5. 05.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler.....	66
Tablo 3.6. 06.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler.....	67
Tablo 3.7. 07.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler.....	67

SEMBOLLER LİSTESİ

B	: Manyetik akı yoğunluğu (Wb/m^2)
c	: Işık Hızı ($3 \cdot 10^8 \text{ m/sn}$)
eV	: Elektron Volt
E	: Elektrik Alan Şiddeti
h	: Plank Sabiti (J.s)
G	: Gauss (G)
H	: Manyetik Alan Şiddeti (A/m)
μ	: Manyetik Geçirgenlik Katsayısı
μ_0	: Havanın Manyetik Geçirgenlik Katsayısı
η_0	: Boş Uzayın Empedansı (377 ohm)
S	: Güç yoğunluğu (W/m^2)
f	: Frekans (hz)
F	: Elektriksel Kuvvet
λ	: Dalga Boyu (m)
σ	: Ortamın Elektriksel İletkenliği
T	: Tesla (T)
ϵ_r	: Ortamın Dielektirik Katsayısı
q	: Elektrik Yüğü

KISALTMALAR LİSTESİ

ANSI	: American National Standards Institute
BTK	: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
DNA	: Deoksiribonükleik asit
EEG	: Elektroensefalografi
ELF	: Extremely Low Frequency
EMA	: Elektromanyetik Alan
EMD	: Elektromanyetik Dalga
EMR	: Elektromanyetik Radyasyon
FCC	: Federal Communications Commission
IARC	: International Agency For Research On Cancer
GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System for Mobile
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
ILO	: International Labour Organization
ICNIPR	: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
ICRP	: International Commission On Radiological Protection
ITU	: International Telecommunication Union
LTE	: Long-Term Evolution
NIEHSE	: US National Institute of Environmental Health Sciences
NIR	: Non-Ionizing Radiation
NCRP	: National Council on Radiation Protection and Measurements
RF	: Radyo Frekans
RFR	: Radyo Frekans Radyasyonu
SAR	: Specific Absorption Rate (W/Kg)
SEMONT	: Serbian Electromagnetic Field Monitoring Network
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
WHO	: World Health Organization

1.GİRİŞ

Günümüzde sürekli olarak değişerek gelişen teknoloji, hayatımızı kolaylaştırmakla beraber yaşamımızda önemli bir yer edinmiştir. Yaşamının birçok sürecinde teknolojinin nimetlerinden yararlanan insanlar, aynı zamanda teknolojiyi kullanmamıza yarayan cihazlardan ortaya çıkan elektromanyetik alana maruz kalarak olumsuz yönde etkilenmektedir. Kullandığımız mobil telefon sistemleri, yüksek gerilim hatları, transformatörler, radarlar, wi-fi, radyo ve televizyon verici-alıcı sistemleri, endüstriyel ve tıp alanlarında kullanılan cihazlar, elektrikli ev aletleri, bluetooth, mikrodalga fırınlar vb. cihazlar elektromanyetik alanların ortaya çıkmasında etkili olan cihaz ve sistemlerdir. Bu gibi cihaz ve sistemler, çevremizde farklı frekans ve şiddetlerde elektromanyetik alan (EMA) oluştururlar. İnsanların maruz kaldıkları elektromanyetik alanların insan vücuduna etkileri; alanın şiddetine, mesafesine, alana maruz kalma süresine, vücudun elektriksel özelliklerine göre değişmektedir (Yaman, 2011; Coşkun ve Çömlekçi, 2016).

Yaşamımızın her alanında etkileşim halinde olduğumuz elektromanyetik ışıının frekanslarına göre iki banttan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi yüksek gerilim hatları, trafo, elektriksel cihazlar ve benzeri donanımlardan meydana gelen Extremely Low Frequency (ELF) bandıdır. Bu bant çok düşük frekans olarak isimlendirilmektedir. Diğer bant ise radyo-mikro dalga frekans bandı olarak ifade edilir ve kısaca 'RFMW' olarak gösterilmektedir. Elektromanyetik alanların içerisinde 2 kHz frekansından daha düşük olan alanlar genel olarak ELF bandı olarak isimlendirilmektedir. 100 kHz ile 300 GHz aralığındaki elektromanyetik alanlar ise yüksek frekanslı alanlar olarak gruplandırılabilir. Evlerde elektrik tesisatından dolayı meydana gelen ELF bandı içindeki frekanslara sahip elektromanyetik alanların değeri 0.06 μ T olmaktadır, yakınında yüksek gerilim hattı bulunmasına bağlı olarak bu değer 100 kata kadar çıkabilmektedir. Bu durumun benzeri baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik dalgalar için de geçerli olabilmektedir. Örneğin evlerin baz istasyonlarına yakın ve antenlerin bakış yönünde olan bölümlerinde normalde elektriksel alanın değeri 0.5V/m iken, bu değer kendisinden 10-15 kat seviyesinde olan değerlere kadar çıkabilmektedir (Çerezci ve ark., 2012).

Elektromanyetik kirlilik diğer çevre kirliliklerine kıyasla duyu organlarımızla algılayamadığımız, vücuda olan etkilerin tümünün kesin olarak belirlenemediği ve bu etkilerin maruziyet anında ortaya çıkmadığı kirliliktir. Bundan ötürü elektromanyetik kirlilik

konusu üzerinde yeterince durulmamakta ve bu konuya gerektiği kadar dikkat ve önem verilmemektedir (Polat, 2017).

Diğer teknolojik sektörlere göre daha hızlı gelişen haberleşme sektörü ülkelerin genelinde daha fazla önem verilen unsurdur. Çevrede maruz kaldığımız elektromanyetik (EM) radyasyon düzeyi, haberleşme sektöründeki gelişmelerin artışı ve yaygınlaşmasıyla daha da artmıştır. Böylelikle yaşam standardımız iyileşirken, sağlığımızı etkileyebilecek EM kirlilik değerleri de hızla artmaktadır (Yaldız ve ark., 2015).

Global System for Mobile Communications (GSM) teknolojisi ile mobil sesli iletişim kurabiliyorken Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) teknolojisi ile mobil görüntülü olarak iletişim kurabilmektedir. Bunların yanında Long Term Evolution (LTE) teknolojisi ile de internet hızında artış sağlanabilmektedir. Bu sistemlerden kaynaklı olarak yayılan elektromanyetik dalgaların şiddet değerleri baz istasyonu üzerinden görüşme yapan telefon kullanıcılarının sayısına ya da görüşme sırasında baz istasyonu ile cep telefonu kullanıcıları arasındaki uzaklığa göre çok değişken bir biçimde farklılaşabilmektedir. Ortamdaki elektrik alan değerleri bu nedenle sürekli bir değişim halinde olabilmektedir (Cansız ve ark., 2016).

Cep telefonları, kablosuz haberleşmenin sağlanması için elektromanyetik dalgalar yaymaktadırlar. 1896'da kablosuz haberleşmenin temeli 10 mil mesafedeki bir noktaya gönderilen bilgi sinyali ile Guglielmo Marconi tarafından atılmıştır. Aynı zamanda Marconi Atlantik Okyanusu üzerinden de 1901 yılında bilgi sinyali göndermiştir. Cep telefonları 1991 yılında tüm dünyanın faydalanabileceği şekilde bir alt yapının geliştirilmesiyle tüketicilerin satışına sunulmuştur ve o günden bugüne popülerliği hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu durum aynı zamanda kendisine paralel olarak kablosuz haberleşmenin yaygınlaşmasını da beraberinde getirmektedir. Yaygınlaşan kablosuz haberleşmeden ortaya çıkan elektromanyetik dalgalara maruz kalınması durumunda insan sağlığı üzerindeki oluşabilecek olası etkiler noktasında araştırmalar önem kazanmıştır. Örneğin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) cep telefonları ve elektromanyetik alanların insan sağlığına olası negatif etkileri noktasında yapılan araştırmaları planlayan ve organize eden kuruluş konumunda görev almıştır. Kullanıcıların cep telefonlarını sürekli yanlarında bulundurması ve günlük hayatta sıklıkla kullanıyor olmasından ötürü yapılan araştırmalar genellikle baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik alanlar üzerine yoğunlaşmıştır (Seyfi, 2006).

Ülkemizde neredeyse kişi sayısı kadar cep telefonu aboneliği ve bundan çok daha fazla cep telefonu bulunmaktadır. Bunlara ek olarak da ülkemizde 50.000'e yakın baz

istasyonu mevcuttur. Canlıların maruz kaldığı elektromanyetik alan kaynağı unsurlarından birisi de baz istasyonu ve cep telefonları tarafından yayılan 900 MHz, 1800 MHz ve 2100 MHz (UMTS) mikrodalga frekanslarından oluşan GSM bandındaki elektromanyetik ışımalardır. Bu, aynı zamanda canlıların maruz kaldığı elektromanyetik alanın kaynağının unsurlarından biri olmakla beraber maruziyet seviyesinin her geçen gün artmasındaki etkenlerden biridir. Bu sebeple ortaya çıkan bu EMA'ların ölçümü, ortamdaki GSM bandından kaynaklanan elektromanyetik kirliliğin tespitinde oldukça önemlidir (Salman ve ark., 2014)

Cep telefonları, elektromanyetik dalgaları harici veya dahili antenleri üzerinden yayarak veri iletimini sağlamaktadır. Bu dalgaların şiddeti, telefon bekleme konumunda olduğu zaman düşük düzeylerde, arama yapılırken veya arama geldiğinde ise maksimum düzeylere çıkabilmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde Radyo Frekans (RF) aralığındaki frekansların iyonlaştırıcı olmayışından ötürü doğrudan hücreleri iyonlaştırıp biyolojik dokuya zarar verebilecek bir etkileşim yaratamayacağı belirtilmiştir. Elektromanyetik dalgaların frekansları değiştikçe bu dalgaların insan sağlığına etkileri değişmektedir (Seyfi, 2006).

Yaşam alanlarımızın içine GSM teknolojisinin kullanılabilmesini sağlamak için kurulan her bir baz istasyonunun belirli bir kapsama alanı olduğundan yaşam alanının nüfusuna ve cep telefonu kullanıcısı sayısına bağlı olarak birçok baz istasyonu kurulumu söz konusu olmaktadır. Mevcut baz istasyonları hizmette süreklilik için günün tüm saatleri boyunca EM radyasyon yaymakta ve bu bölgede yaşayan insanlar istemese dahi baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik alanlara maruz kalmaktadır. Kullanılmaya başlanmasından onlarca yıl geçmesine rağmen GSM teknolojisinin insanlar üzerinde ne gibi biyolojik etkilere sebep olacağı konusunda yeterince bilgi sahibi olunmaması, sağlığa zararları bakımından tartışmaları beraberinde getirmiştir. Yoğun EM alana maruz kalmak insanlar üzerinde, stres, baş ağrısı gibi basit etkiler gösterebildiği gibi beyin tümörü, kanser gibi ciddi hastalıklara da neden olabilmektedir. Yapılan araştırmalarda elektromanyetik kirliliğin canlılar üzerine tüm etkileri henüz tespit edilememiştir. EUROPAEM (Avrupa Çevre Sağlığı Akademisi) EMA'ların kronik ve diğer tip hastalıklarda artışa neden olduğunu göstermiş, uzun süreli EMA'a maruz kalınması durumunda özellikle kanser, alzheimer ve kadın doğurganlığında risk faktörü yarattığını bildirmiştir. Yapılan başka bir çalışma neticesinde ise elektromanyetik dalgaların DNA'yı parçalayabileceği, insanlarda beyin kan bariyerlerine zarar verebileceği, çocuklarda öğrenme bozukluğuna neden olabileceği ve

erkeklerde spermi azaltabileceği gibi çeşitli riskleri olduğundan maruziyet sınırlarında ekstra önlemler alınması gerektiği bildirmiştir (Yaldız ve ark., 2015; Polat, 2017). Avrupa birliğindeki 27 üye ülkede lösemili çocuklar üzerinde yapılan araştırmada ise özellikle çocuklarda aşırı düşük frekanslı elektromanyetik alanlardan etkilenme oranının daha yüksek olduğu vurgulanmıştır. Yapılan araştırmaların neticesinde ortaya konulan elektromanyetik alanların zararlı etkilerinin yanı sıra daha bilinmeyen ve üzerinde çalışılan birçok etkinin de var olduğu düşünülmektedir. (Pala ve ark., 2015).

Teknolojinin gelişmesiyle beraber kablosuz sistemlerin özellikle de hücresel sistemlerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Hücresel sistemlerin temel yapı taşı baz istasyonlarıdır. Kullanıcıların bulundukları her yerde çevrimiçi kalmak istemeleri, giderek artan multimedya kullanımı, her baz istasyonunun sınırlı sayıda kullanıcıya ve sınırlı bir bölgeye hizmet verebilmesi operatörleri daha fazla sayıda baz istasyonu kurmaya zorlamaktadır. Sayısı her geçen gün artan baz istasyonlarından kaynaklı elektromanyetik radyasyon (EMR) seviyelerinin ölçülmesi, değerlendirilmesi ve olası tedbirlerin önceden alınması insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Bu alanda çalışmalar yapan uluslararası kuruluşlar elektromanyetik alan değerleri için ülkemizde de geçerli olan limit değerleri belirlemişlerdir. Bu kuruluşların en önemlilerinden birisi de 'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection' (ICNIRP) dir. ICNIRP, maruz kalınan EMR düzeyinin zararlı olmaya başladığı sınır değerlerini frekans aralıklarına göre belirlemiştir. Bu limit değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından da tanınan genel halk sağlığı için günde 24 saat maruz kalındığı kabulüyle belirlenmiştir Ülkemizde ise, ICNIRP'ın belirlediği sınır değerler kullanılarak Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından bu alanda gerekli yasal düzenlemeler yapılmaktadır (Yıldız ve ark., 2015).

Bu çalışmada Munzur Üniversitesi Aktuluk yerleşkesinde (Tunceli) konumsal bilgileri GPS ile belirlenmiş noktalarda elektromanyetik alan ölçümleri yapılarak yerleşkenin elektromanyetik alan değerleri belirlenmiştir. Elde edilen ölçüm değerleri Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) ve ulusal kuruluş olan Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından belirlenen sınır değerlerle karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. Daha sonra konum bilgileri belirlenmiş olan noktalarda yapılmış ölçümlerden elde edilen değerler kullanılarak yerleşkenin elektromanyetik alan haritası çıkarılmıştır.

1.1. Literatür Taraması

Literatürde elektromanyetik alan ölçümü ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu tür çalışmalar epidemiyolojik çalışmalar için de oldukça önemlidir. Ölçüm sonuçlarının, ICNIRP veya Electrical and Electronics Engineers (IEEE) gibi çeşitli uluslararası kuruluşların belirlediği maruziyet düzeyleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi insan sağlığının korunması için alınan hayati önlemlerden sadece birkaçıdır (Cansız ve ark., 2016). Literatürde elektromanyetik alan ölçümü ve elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturulması ile ilgili yurtiçi ve yurtdışında yapılan çalışmalardan bazıları bu bölümde anlatılmıştır.

Elektrik ve manyetik alanların şiddetlerini ölçmek ve değerlendirmek için başta şehir merkezleri olmak üzere üniversite kampüslerinde birçok çalışma yapılmıştır. Sinop il merkezinin 50-3500 Mhz bant aralığındaki elektromanyetik kirlilik düzeyi araştırılmıştır. Çalışmada Extech 480836 (50-3500 Mhz) cihazı kullanılmıştır. Konumsal bilgileri GPS ile tespit edilen 46 ayrı kontrol noktasında 30 gece ve 30 gündüz olmak üzere her bir noktada 60 kez elektromanyetik alan kirliliği ölçümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Sinop ilinde mevcut elektromanyetik kirliliğin BTK tarafından belirlenen sınır değerlerin üzerinde olmadığı tespit edilmiştir (Polat, 2017).

Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Araştırma ve Uygulama Hastanesinin elektromanyetik alan haritası çıkarılması ile ilgili yapılan çalışmada ölçümler hastanenin kritik olan noktalarından alınmıştır. Çalışmada Extech 480836 cihazı (50-3500 Mhz) kullanılmıştır. Bu noktalardaki ölçümler alınarak, ortamdaki enerji seviyesi belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen değerler, sınır değer ile karşılaştırılıp çıkarımlar yapılmıştır (Coşkun ve Çömlekçi, 2016).

Sırp Elektromanyetik Alan İzleme Ağı (SEMONT) kapsamında, Novi Sad Üniversitesi kampüsündeki yüksek frekanslı elektrik alanların izlenmesi ile ilgili yapılan çalışmada gündelik aktivitelerin yoğun olduğu, öğrenciler tarafından en çok ziyaret edilen ve gündelik elektromanyetik alanlara maruz kalınması konusunda hassas olduğu düşünülen yerlerde elektromanyetik alan dalgalanmaları izlenmiştir. İzleme sonuçları, potansiyel maruziyetin, genel nüfus için Sırp mevzuatının öngördüğü referans seviyeleriyle ilgili izin verilen sınırın çok altında olduğunu göstermektedir (Djuric ve ark., 2015).

SEMONT, genel nüfusun iyonize olmayan radyasyon maruziyetini değerlendirmek ve gerçek zamanlı bir yayılım gerçekleştirebilmek için ortamdaki EMF seviyesini sürekli

olarak ölçen bir uzak kablosuz sensör düğümleri ağıdır. Sırp elektromanyetik alan (EMF) izleme ağı (SEMONT) kapsamında yapılan başka bir çalışmada yüksek frekanslı dört bantlı elektrik alan prob EP-4B-01 ile donatılmış Narda Area Multiband AMB 8057/03 sensörünü kullanarak SEMONT EMF geniş bant izlemenin uygulama ve sonuçlarının bazı ayrıntıları sunulmuştur. Çalışmada gerçek zamanlı ölçüm sonuçları sağlamak ve genel nüfusun uzun vadeli potansiyel maruziyetinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır (Antic ve ark., 2014).

Malezya'daki büyük şehirlerin, örneğin Kuala Lumpur ve Johor Bahru'nun kamusal alanlarındaki cep telefonu baz istasyonları tarafından yayılan elektromanyetik maruziyeti incelemek için yapılan bir araştırmada iki ölçüm yöntemi, yani geniş bant ve dar bant ölçümleri kullanılmıştır. Ölçüm verilerinden elde edilen değerler daha sonra ICNIRP yönergeleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarından elde edilen cep telefonu baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik maruziyet seviyeleri ICNIRP'in belirlemiş olduğu limit değerlerin çok altında olduğunu göstermiştir (İsmail ve ark., 2009).

Elektrikli araçlarda (EVs) manyetik alan maruziyeti üzerine yapılan bir çalışmada farklı motor teknolojilerine sahip (fırçalanmış doğru akım, sabit mıknatıslı senkron ve indüksiyon) sekiz farklı elektrikli aracın (manyetik alan, hibrid, plug-in hibrit ve yakıt hücresi tipleri dahil) içindeki manyetik alan 10 MHz'e kadar olan frekanslarda ölçülmüştür. Ölçülen elektrikli araçların sonuçları, maruziyetin ICNIRP 2010 referans seviyelerinin, akünün yakınında ve aracın çalıştırılması sırasında ayakların yakınında genel halk maruziyeti için % 20'ye ulaştığını, ancak kafa yüksekliği için % 2'den az olduğunu göstermiştir (Vassilev ve ark., 2015).

Romanya'nın Iasi kentinin karmaşık bir kentsel bölgesinde genel olarak düşük frekanslı manyetik alanlara maruz kalmanın değerlendirmesiyle ilgili yapılan çalışmada üç daire ve açık alanda, bir enerji trafo merkezinin ve bir sokak yolunun yakınında bulunan 23 noktada, 150'den fazla ölçüm yapılmıştır. Bir dizi ev aletinin yakınında kaydedilenler de dahil olmak üzere ölçülen tüm maruz kalma seviyeleri, ICNIRP referans seviyesinin oldukça altında olduğu tespit edilmiştir (Ursache ve ark., 2016).

GSM 900, GSM 1800, UMTS ve LTE şebekelerinin kentsel alanlarda yaydığı uydu- yer hattı sinyal düzeylerinin yerinde tespiti için yapılan çalışmada ölçümler, LOS ve NLOS pozisyonları dahil, açık ve kapalı alanlarda, kalibre edilmiş spektrum analiz cihazı NARDA SRM 3006 ile gerçekleştirilmiştir. En yüksek ölçülen değer, GSM 900 için açık LOS konumunda 2.82 V/m olarak kaydedilmiştir. Genel hücresel sistemlerin downlink sinyal

seviyesine en çok katkısı GSM 900 yapmıştır ve bunu UMTS, GSM 1800 ve LTE izlemiştir (Ibrani ve ark., 2017).

Arnavut topraklarının tamamına dağılmış 80 mobil istasyonunda 900, 1800 ve 2100 MHz için ayrı ayrı E alanı (elektrik alan gücü) ölçülmüştür. Daha sonra, bant genişliği (880–2140) MHz için toplam E alanı gücü ölçülmüştür. Ölçüm aracı, 100 kHz'den 3GHz'e kadar olan radyasyonu ölçmektedir. E-alanı güç probu kullanılarak E-alanı ölçümleri alınmıştır ve prob, birbirine ortogonal olan üç bağımsız dedektör elemanından oluşmaktadır. Uygulanan yöntem, zaman içinde değişen güç veren elektromanyetik kaynakların izlenmesi için tasarlanmıştır (Cela ve ark., 2013)

Mossoro şehrinin merkezi bölgesinde elektromanyetik kirlilik hakkında bir çalışma yapılmış, ayrıca elektromanyetik alanların yoğunluğu, analiz bölgesi boyunca dağılmış 50 noktada ölçülmüştür. Ölçümlerden elde edilen değerlerin, şehrin merkezi bölgesi boyunca mekansal olarak nasıl dağıldıkları gösterilmiş, en yüksek değerlere sahip yerlerde bile, belirlenen maruz kalma sınırı değerlerinin hala altında oldukları tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bölgedeki elektromanyetik alan değerlerinin, belirlenen sınır değerlerin altında olduğu ve bölgenin vatandaşlar için teknik açıdan sağlıklı sayılabileceği vurgulanmıştır (Santana ve ark., 2017)

İç mekan ortamındaki sekiz farklı cep telefonu modelinden, pratik ölçüm bazlı değerlendirme tekniğini kullanarak elektromanyetik radyasyon yoğunluğunun tespiti ile ilgili yapılan çalışmada farklı telefon modelleri, aktif çağrı modlarında, 0.05 m ölçüm aralıklarında, üç eksenli düzlemlerde 0,2 m'lik bir mesafeye kadar yerleştirilmiştir. Sonuçlar, telefonlardan gelen elektromanyetik radyasyon seviyelerinin, cep telefonu markası, kullanıcı tarafından cep telefonu mesafesi ve çağrılarının yapıldığı mühendislik hücresel radyo ağı ayarını içeren birçok faktöre bağlı olduğunu göstermektedir. En yüksek radyasyona maruz kalma yoğunluğu, görüşme sırasında alıcıyla yapılan çağrılarını yaparken kaydedilmiştir. Bazı telefonlardan elektrik alan açısından radyasyon miktarının insan sağlığı güvenliği için ICNIRP tarafından önerilen standarttan daha yüksek olduğu; bu nedenle, güvenlik amacıyla vücudun en azından 0,01 m (yani 1 cm) uzaklığından belirli bir mesafede arama yapılması gerektiği düşünülmüştür (Isabona ve Srivastava, 2017).

2010 yılında ülkemizde 33042 adet baz istasyonu çevresinde Narda marka SRM 3000 model cihazıyla elektromanyetik alan ölçümleri yapılmış, Türkiye genelinde 33042 baz istasyonu yakınında yapılan ölçümde 0-3 V/m arası, genel ölçümün % 88.13'ünü, toplam

1450 baz istasyonu yakınında yapılan ölçümde 5-9 V/m arası, genel ölçümün %2.91'ini teşkil etmektedir (Güler ve ark., 2010).

Zonguldak merkezinde 2010 yılında 100 kHz - 3 GHz RF bant aralığında elektromanyetik (EM) kirlilik araştırması dinamik ölçüm prosedürü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elektromanyetik kirliliğin belirlenmesi, elektromanyetik radyasyon (EMR) ölçüm cihazı, global konumlandırma sistemi (GPS) cihazı ve mobil PC'yi özel bir araç panosuna monte ederek planlanan alanlar üzerinde ölçümler yapılarak sağlanmıştır. Ölçümlerden elde edilen değerlerin ulusal ve uluslararası değerlerin izin verdiği sınırın altında olduğu tespit edilmiştir (Özgümüş, 2010).

Kocaeli İzmit ilçesinin Karabaş Mahallesinde bulunan baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik alanların şiddeti sokak sokak ölçülerek grafiklendirilmiş ve elde edilen değerler kullanılarak 2-B ve 3-B olarak konuma bağlı elektrik alan şiddeti dağılımları oluşturulmuştur. Çalışmada Extech 480836 (50-3500 Mhz) cihazı kullanılmıştır. Ölçümler neticesinde alınan değerler BTK tarafından belirlenen limit değerlerle ve e-devlet sitesinden çalışmanın yapıldığı bölgeye ait yayınlanan elektrik alan şiddeti değerleriyle karşılaştırılmıştır (Salman ve ark., 2014).

Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde bulunan baz istasyonlarının ve diğer elektromanyetik alan kaynaklarının meydana getirdiği elektromanyetik alan şiddetlerinin 2011 yılından, 2013 yılına uzayan bir periyotta dönemsel ölçümleri alınarak elektromanyetik alan yoğunluk haritaları belirlenmiştir. Bu dönemsel değişimler kıyaslanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise şehir merkezinde gün içinde elektrik alan seviyelerinin değişimini, gözlemlemek için iki adet sürekli elektromanyetik alan ölçüm istasyonu kullanılmıştır (Karadağ ve ark., 2014).

2012 yılında Karaman şehir merkezinde yapılan ölçümlerde 100 kHz-3GHz frekans aralığında ölçüm yapan bir prob kullanılmıştır. Alınan ölçüm sonuçlarının yarıya yakını 1-2 V/m aralığındaki elektrik alan değerlerinden oluşmakla birlikte yapılan ölçümlerde şehrin daha dış kısmında kalan hastanelerin bulunduğu ve diğer yerlere göre rakımı yüksek olan Beyazkent Mahallesi'nde en yüksek elektrik alan değerlerinin ölçüldüğü görülmüştür (Polat, 2013).

Diyarbakır il merkezinde yüksek ve düşük frekans kaynaklı elektrik ve manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarında yüksek frekans kaynaklı elektrik alan değerlerinin ICNIRP'nin belirlemiş olduğu halk maruziyet limitlerini aşmadığı görülmüştür. Düşük frekans kaynaklı elektromanyetik alan ölçümlerinde ICNIRP'nin belirlemiş olduğu

halk maruziyet limit değerlerini aşan yerlerin olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yüksek gerilim hatlarının yaşam alanlarının çok yakınından geçtiği noktalarda elektrik alan değerinin 9902 V/m kadar yükseldiği llmştir (Cansız, 2010).

Erciyes niversitesi kampüsünde 81 noktada yapılan ölçümler sonucunda GSM 900 ve DCS 1800 sistemlerinin elektrik alanlarının sınır değerleri aşmadığı sonucuna varılmıştır (Sorgucu ve ark., 2011).

Elektromanyetik alanlara maruz kalan kişilerin sağlıkla ilgili problemlerini saptamak amacıyla Çukurova niversitesinde bir yüksek lisans tezi olarak yürütülen çalışmada farklı iki grup üzerinde anket çalışması yapılmış, elde edilen anket sonuçları tartışılmıştır (Düzgün, 2009).

Marmara Üniversitesi Göztepe kampüsünde 44 farklı noktada elektrik alan şiddeti ölçülmüş ve elde edilen sonuçların ulusal sınır değerlerin altında olduğu grlmştir (Kunter, 2015).

Balıkesir ilinde baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik alan değerleri ölçüm yapılarak belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen değerler ulusal ve uluslararası elektromanyetik alan maruziyet sınır değerleriyle karşılaştırılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir (Bayram, 2017).

Muş şehir merkezinde ve Muş Alparslan niversitesi kampüsünde bulunan yüksek frekanslı elektromanyetik alan kaynaklarının yaydığı kirlilik ölçülmüş ve uzun süreli izlemesi gerçekleştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir (Etem, 2017).

1.2. Elektromanyetik Alan Hakkında Genel Bilgiler

Belirli bir yerde elektromanyetik enerjinin varlığını göstermek için, elektromanyetik alan (EMF, Electromagnetic Fields) terimi kullanılmaktadır. Bu kavram mikrodalgalar dahil olmak üzere 0 Hz ile 300 GHz arasındaki statik alanları, dalga boyu çok uzun alanları ve Radyo Frekanslarını (RF, Radio Frequency) kapsamaktadır. Günlük yaşamımızda oldukça sık ve uzun süreli kullandığımız birçok elektrikli ya da elektronik cihaz elektromanyetik alan (EMA) oluşturmaktadır.

Radyo frekans ve mikrodalga (RF / MW) radyasyonu elektromanyetik spektrumun 3 kHz-300 GHz frekans bandını kapsamaktadır. En çok RF / MW radyasyonuna halkın maruz kaldığı ortak kaynaklar mobil telefonlar ve bunlarla ilişkili kulelerdir. Televizyon ve radyo istasyonları programları yayınlamak için daha güçlü sinyaller kullanmaktadırlar. Son derece düşük frekanslı (ELF) elektromanyetik alanlar (EMF'ler) 0–300 Hz frekans aralığında bulunmaktadır. ABD’de 60 Hz’de ve en çok 50 Hz’de çalışan hatlar (diğer ülkeler) - elektrikli cihazlarla birlikte - en çok ELF EMA maruziyetlerinin ortak kaynakları olmaktadır (Slesin, 2008).

Bütün elektrikli cihazlar güçleri oranında elektromanyetik alan oluşturmaktadır. Evlerde kullanılan bebek alarmları, alarmlı saat ve radyolar, elektrikli battaniyeler, traş makinesi, saç kurutma makinesi, mikrodalga fırınlar, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, elektrik süpürgeleri, floresan lambalar, bilgisayar ekranları gibi ev aletleri ve kişisel aletler, tıbbi ve endüstriyel alanlarda kullanılan çeşitli aletler ile bunlara ek olarak enerji nakil hatları ve trafo istasyonları, elektrikli trenler, endüksiyon fırınları, radyo TV ve telsiz verici istasyonları, radar sistemleri, uydu haberleşme sistemleri, tedavide çeşitli frekanslarda kullanılan tıbbi cihazlar, yoğun bakım ünitelerinde kullanılan cihazlar, sanayi ve endüstride radyo frekansında çalışan sistemler, GSM haberleşme sisteminin temel yapı taşları olan baz istasyonları ve cep telefonları elektrik ve manyetik alan yaymakta olan kaynaklara örnek olarak gösterilebilmektedir (Sarıkahya, 2014; Yaman, 2011; Polat, 2016)

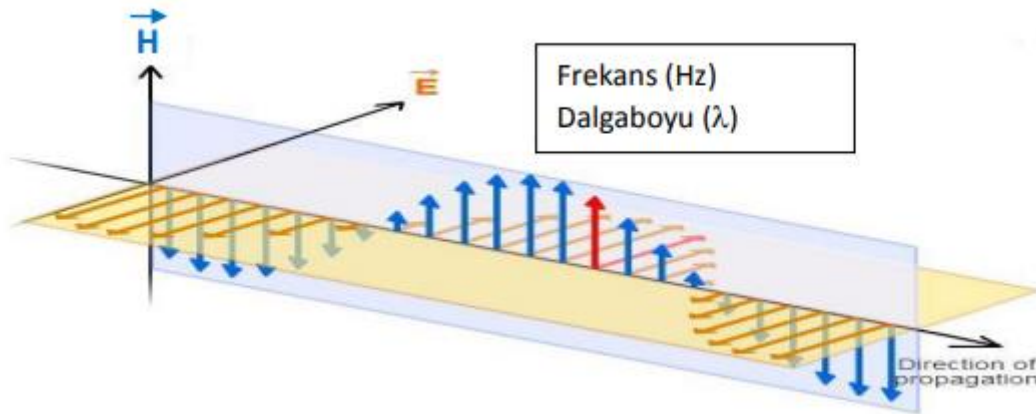
Her bir madde pozitif ve negatif elektrik yüklerini barındırmakta, elektron ve protonlar atomu oluşturan en küçük yük birimleri olarak bilinmektedir. Bir protonun taşıdığı $e = +1,6 \cdot 10^{-19}$ C’lik elektrik yük miktarına temel elektrik yükü denilmektedir. Bir elektronun elektrik yükü $-e$ ’dir. Hareket eden ve durgun yükler, durmakta ya da hareket eden diğer yükler üzerinde kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvet alanlarına elektrik alan ve manyetik alan denmektedir. Yüklerin sabit hızla hareket ederken oluşturdıkları alan statik manyetik alan,

yüklerin hareketsiz olduğunda ortaya çıkan alan statik elektrik alan olarak tanımlanmaktadır. İvmelenmiş yükler elektrik ve manyetik alanların zamanla değiştiği elektromanyetik alanları oluşturmaktadır (Güçlü, 2011).

Elektrik ile yüklü cisimler etrafında oluşmuş olan ve elektrikle yüklü diğer cisimler üzerine bir kuvvet uygulamakta olan etkiler, elektromanyetik alan olarak tanımlanmaktadır. Diğer başka ifadeyle elektromanyetik alan; bir elektriksel yükün ivmeli hareketi veya hareketleri sonucu uzay boşluğunda oluşmuş olan değişiklikler olarak ifade edilmektedir (Balci, 2017).

Uzayda ya da maddesel bir ortamda yayılan ve salınım yapan bir elektrik alanın (EA) ve manyetik alanın (MA) birlikte oluşturduğu kabul edilen dalgalara elektromanyetik dalga (EMD) denmektedir. Şekil 1.1.'de hareket halindeki basit bir EM dalganın anlık bir görüntüsünü temsil etmektedir. Bu dalgada; elektrik alan ve manyetik alanlar, sırasıyla x-z ve y-x düzlemlerinde yatan iki sinüs dalgası biçimindedir. Aralarında 90° 'lik bir faz farkı vardır ve birbirlerine diktir. Bu sebepten dolayı bir noktada manyetik alan maksimum ise, elektrik alan minimum olmaktadır. Bunun tersi de doğrudur. Bu dalga, boşlukta ışık hızıyla ilerlemektedir (Önal, 2005).

Elektromanyetik alanların frekansı ile dalga boyu ters orantılı, alanın yaydığı enerji ise doğru orantılı olarak değişmektedir (Erdin, 1978). Örneğin frekans arttıkça dalga boyu kısalırken ve alanda oluşan ve yayılan enerji miktarı artmaktadır. EMA'nın elektrik alan ve manyetik alan olmak üzere iki ana temel alt bileşeni bulunmaktadır (Balci, 2017).



Şekil 1.1. Bir elektromanyetik dalganın manyetik alan ve elektrik alan vektörel sinüzoidal gösterimi (Kalin, 2015).

1.2.1. Alan

Belirli bir bölgedeki yükler tarafından yüklerin etrafında oluşan, yüklerin karakterlerine göre ve yüke olan mesafeye bağlı olarak değişen, yüklerin birbirlerine olan etkilerini, bu etkilerin yönünü ve büyüklüğünü açıklamak için ortaya konan terime alan denir. Yüklerin hareketi, yüklerin karakteri ve yüke olan mesafe, alanı etkileyen bazı faktörlerdir. Yükler birbirleriyle farklı yollarla etkileşim halinde olabilir. Bir yükün diğeriyle etkileşim halinde olması için ya fiziksel bir temas oluşması ya da yükler, alanlarının ortak etkileşimi ile aralarında itme ya da çekme kuvveti oluşturması gerekmektedir (Balcı, 2017).

1.2.2. Elektrik Alan

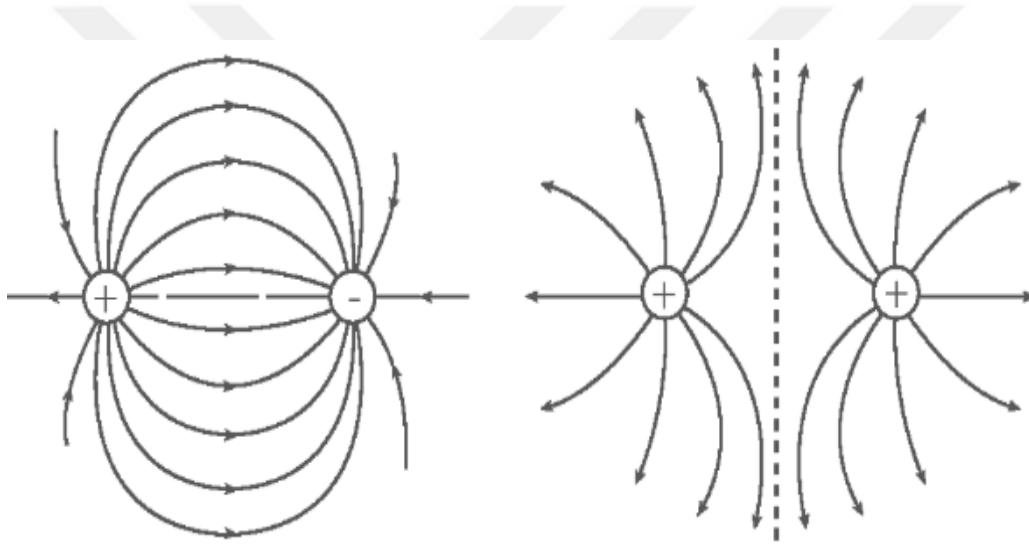
Elektrik yüklü cisimlerin birbirlerine uyguladıkları itme veya çekme kuvveti cisimlerin aralarındaki uzaklıkla ters orantılı olarak değişerek sonsuz erimlidir. Bu nedenle aralarındaki etkileşim belirli bir bölgenin dışında ölçülemeyecek kadar az olmaktadır. Etkileşim halinde olan cisimler arasındaki mesafe arttıkça, birbirlerine uyguladıkları kuvvet giderek azalır ve mesafe giderek artmaya devam ederse elektrikselsel alan kuvveti ölçüm yapılamayacak düzeylere gelir. Bu durum henüz oluşmamışken bir yükün etkisini tam olarak gösterebildiği alana, o yükün elektrikselsel alanı denmektedir. Elektrik alan, uluslararası birim sisteminde (SI) Newton/Coulomb ya da Volt/metre (V/m) olarak ifade edilmektedir. Elektrik alanın büyüklüğü ve yönü olduğundan vektörel bir büyüklüktür. Elektrik yüklerinin varlığı elektrik alanı meydana getirmektedir. Her elektrik yükü bir elektrik alan oluşturmaktadır. Bir cihazın beslenme gerilimi arttıkça elektrik alan değeri de yükselir (Balcı 2017; Sarıkahya, 2014).

Elektrik prizine bağlı konumda olan bir cihaz açıldığında, verilen elektrik kaynağı gücü ile orantılı olarak oluşan manyetik alan, elektrikli cihaza çok yakın oluşmakta, cihazın yakınında çok güçlü olmakta, uzaklaştıkça şiddeti azalmaktadır. Bu alan kolaylıkla ortadan kaldırılamamakta ve şiddeti azaltılamamaktadır (İlhan, 2008).

Diğer bir ifadeyle, elektrik alanı yaratan elektrik yükleridir. Bir bölgede elektrik yükü yoksa orada elektrik alandan söz edilemez. Her elektrik yükünün oluşturduğu büyük ya da küçük bir elektrik alanı vardır (Balcı, 2017).

Pozitif Q nokta yükünün oluşturduğu elektrik alanın yönü Şekil 1.2' de gösterildiği biçimdedir. Elektrik alan çizgileri yük dağılımlarının uzayın değişik noktalarında

oluşturduğu elektrik alanın yönelimini ve yoğunluğunu ifade eder. Elektrik alan çizgileri, pozitif yük dağılımında başlayıp negatif bir yük dağılımında son bulmaktadır. Bir bölgedeki elektrik alan yoğunluğu ile o bölgedeki elektrik alan çizgilerinin birbirine yakınlığı doğru orantılıdır. Herhangi bir noktadaki elektrik alan çizgisine çizilen teğetin doğrultusu, o noktada elektrik alanın yönünü göstermektedir. Uzayda sadece pozitif yük var ise elektrik alan çizgileri sonsuzda son bulmaktadır. Eğer sadece negatif yük varsa elektrik alan çizgileri sonsuzda meydana gelmektedir. Uzayda herhangi bir noktadan birden fazla elektrik alan çizgisi geçmemektedir. Dolayısıyla elektrik alan çizgileri birbirini kesmeyen çizgilerdir. İki zıt kutuplu yük için elektrik alan çizgileri artı yükten çıkıp eksi yükte son bulmaktadır (Sarıkahya, 2014).



Şekil 1.2. Elektrik alan çizgileri (Bayram, 2017).

Coulomb, elektriksel iki yükün aralarında kuvvet oluşturduğu ifade etmiştir. Ayrıca bu kuvvetin, onu oluşturan yüklerin büyüklüklerinin çarpımı ile doğru, yüklerin birbirlerine olan uzaklıklarının karesi ile ters orantılı olarak değiştiğini ortaya koymuştur. Bu durumu (1.1)'deki eşitlikle ifade etmiştir. Bu eşitlikte ' Q_1 ' ve ' Q_2 ' yükleri, ' d ' yükler arasındaki uzaklığı, ' F ' oluşan kuvveti ve ' k ' ise Coulomb sabitini ifade etmektedir. Coulomb sabiti (1.2)'deki eşitlikten elde edilmektedir. ϵ_0 , boşluğun elektrik geçirgenliği veya dielektrik sabitidir (Bayram, 2017).

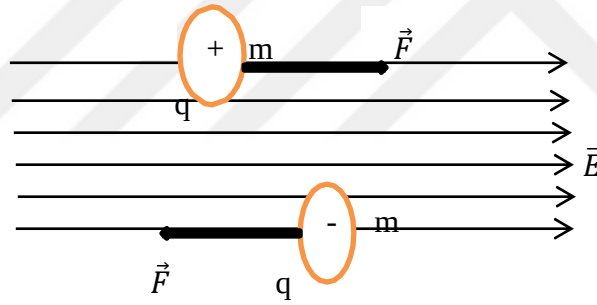
$$\vec{F} = k \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \hat{r} \quad (1.1)$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,9875 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \quad (1.2)$$

Herhangi bir noktada bulunan pozitif veya negatif yüklü bir cismi etkileyen elektriksel bir kuvvet varsa o noktada elektrik alan var denmektedir. Bu alandaki elektrik alan büyüklüğü bulunurken (1.3) eşitliği kullanılır. Bu eşitlikte q_0 pozitif deneme yükünü, F deneme yükü üzerine etkiyen kuvveti ve E elektrik alan vektörünü göstermektedir (Keysan, 2015).

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1.3)$$

Şekil 1.3.'den de anlaşılacağı üzere elektrik alana bırakılan pozitif yüklü parçacık elektrik alanı ile aynı yönde hareket ederken negatif yönlü parçacık ters yönde hareket eder (Polat, 2013).



Şekil 1.3. Elektrik alana bırakılan artı yüklü ve eksi yüklü parçacıkların hareketi (Polat, 2013).

Gauss yasası Coulomb yasasının alternatifi olarak kullanılabilmektedir. Coulomb yasasındaki elektrik yükü ile elektrik alan arasındaki ilişki Gauss yasası ile daha anlaşılır bir duruma gelmiştir. Kapalı bir yüzeyden dışarıya akan elektriksel akı ile yüzeyin içerisinde kalan elektriksel yük arasındaki bağıntı diferansiyel formda (1.4)'teki gibidir (Cheng, 1989).

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1.4)$$

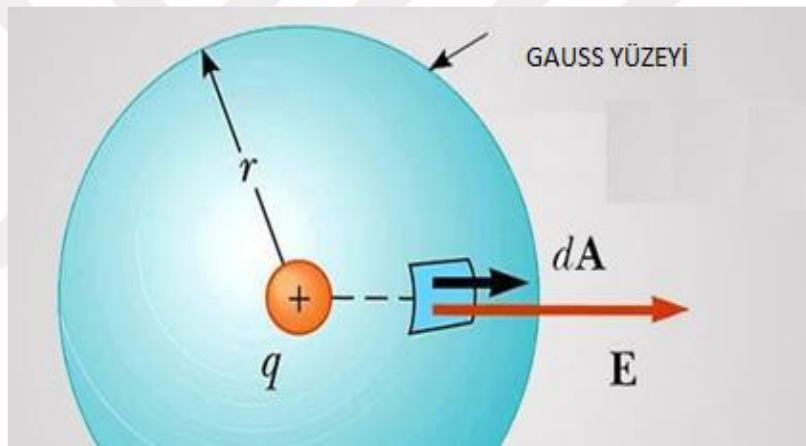
Elektrik alanın, akı yoğunluğu ($\vec{D}$) ve malzemenin elektriksel geçirgenliği (ϵ) ile olan ilişkisini gösteren bağıntı (1.5)'te verilmektedir. Elektrik akı yoğunluğu ' $\vec{D}$ ' ile gösterilmektedir. Birimi Coulomb/metrekare (C/m^2)'dir (Polat, 2013).

$$\vec{D} = \frac{\vec{E}}{\epsilon} \quad (1.5)$$

Elektriksel geçirgenlik “ ϵ ” ile gösterilmektedir. Bir malzeme içinde sınırlanmış yüklerin sayısının bir ölçütü olarak tanımlanmaktadır. Birimi Farad/metre (F/m)’dir. Elektriksel geçirgenlik, (1.6) denkleminde gösterildiği gibi serbest uzayın elektriksel geçirgenliği (ϵ_0) ve malzemenin dielektrik sabiti (ϵ_r) nin çarpımına eşittir (Seybold, 2005).

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (1.6)$$

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \cong 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ (F/m)} \quad (1.7)$$



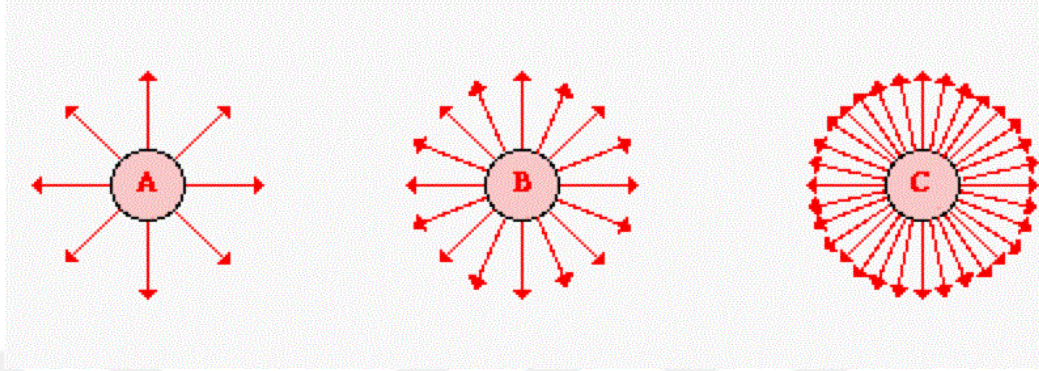
Şekil 1.4. Gauss yüzeyinden çıkan elektrik akı (Bayram, 2017).

Elektrik alanına giren iletken bir malzemede, elektriksel alan kuvvetinden kaynaklı bir akım oluşur. Bu akım, (1.8) denklemde gösterildiği biçimde, ortam iletkenliği (σ) ile doğru orantılıdır. Bu denklemde ‘ $\vec{j}$ ’ akım yoğunluğunu, ‘ σ ’ ortamın elektriksel iletkenliğini göstermektedir (Bayram, 2017).

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (1.8)$$

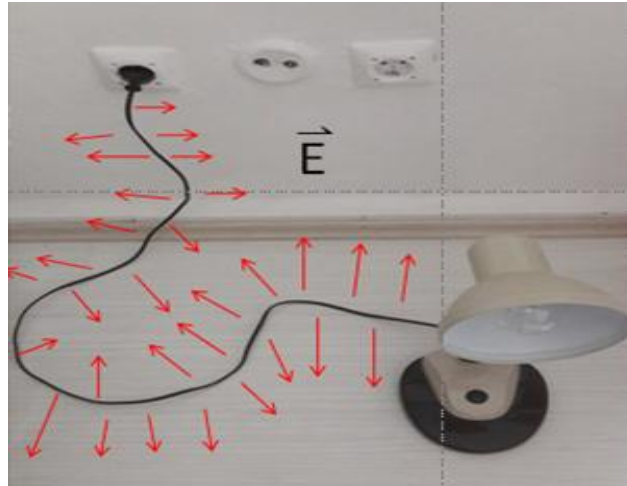
Şekil 1.5’te üç farklı nesnenin elektrik alan çizgilerinin yoğunluğu ile yükleri doğru orantılıdır. Yük miktarı ne kadar fazla ise elektriksel alan da o kadar büyük olacaktır.

Şekildeki çizgilerin sıklıklarına bakarak nesnelerin yük miktarıyla ilgili karşılaştırma yapmamız olanaklı hale gelebilmektedir. Yani C nesnesinin elektriksel yükü B'den, B nesnesinin elektriksel yükü ise A'dan fazladır diyebiliriz (Balcı, 2017).



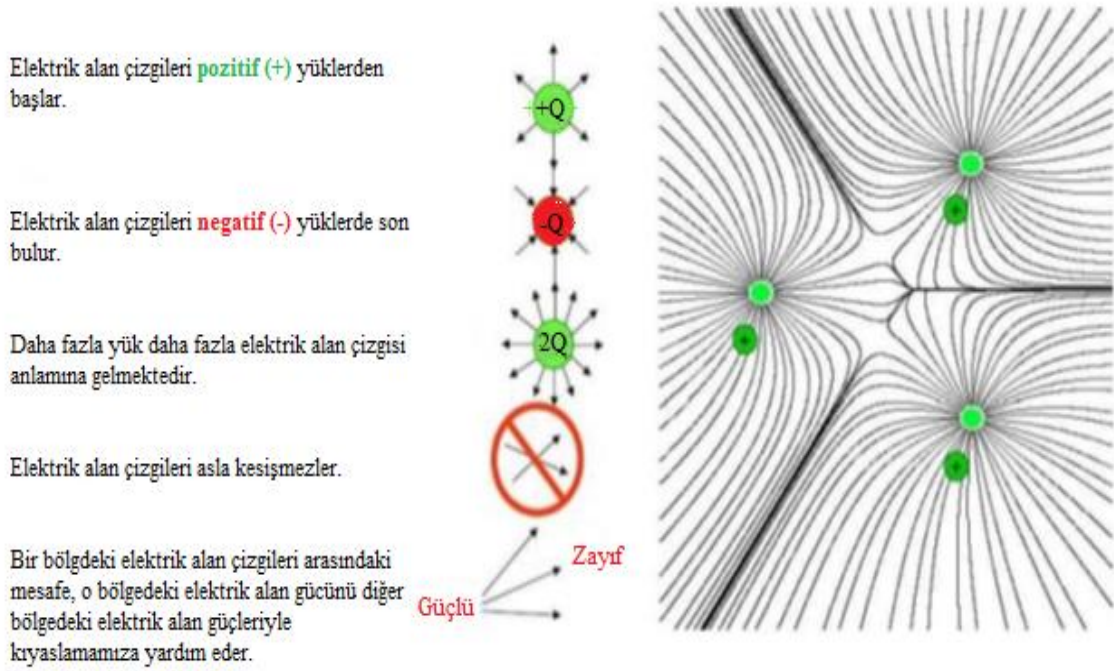
Şekil 1.5. Elektrik alan yoğunluğu ve elektriksel yük arasındaki orantı (Balcı, 2017)

Yüklü cisimler elektriksel alan oluştururlar. Açık bir devrede dahi elektrik alan oluşumu gözlemlenmektedir. Anahtarı kapalı ancak fişi prize takılı olan bir masa lambası Şekil 1.6.'da görülmektedir. Bu masa lambası prize bağlı olup çalışmamasına rağmen, Şekil 1.6.'da gösterildiği gibi elektrik alan oluşturmaktadır (Polat, 2017).



Şekil 1.6. Kapalı konumdaki elektrikli cihazın yaydığı elektrik alan (Polat 2017).

Elektrik alan çizgileriyle ilgili özet bilgiler Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7. Elektriksel alan çizgileri kuralları (Balcı, 2017).

1.2.3. Manyetik Alan

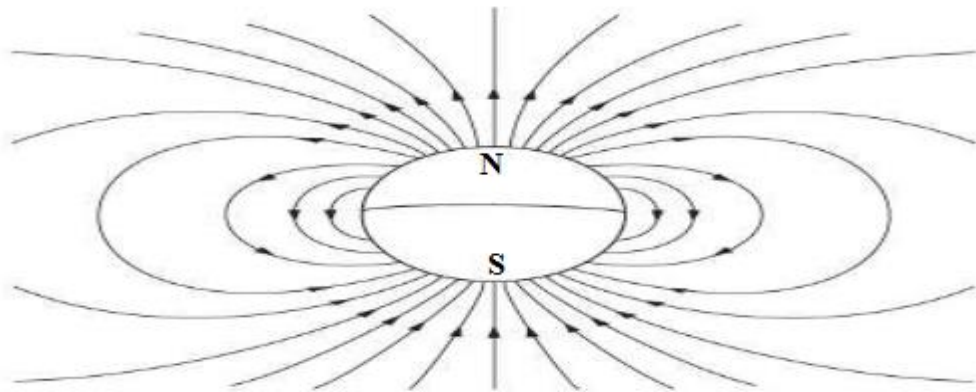
Hareketli ve elektrik yüklü parçacıkların, güç etkisinde kaldığı boşluk olarak tanımlanan manyetik alan, atomların içindeki elektronların çekirdek ve kendi etrafında dönmeleri sonucunda oluşmaktadır. Basit bir ifade ile manyetik alan, düzgün doğrusal (ivmesiz) hareket eden yüklerin (parçacıkların) oluşturduğu alana denmektedir. Dolayısıyla akım geçiren her şey manyetik alan oluşturmaktadır. Elektrik alan gibi manyetik alan da vektörel (büyüklüğü ve yönü olan) bir niceliktir. Manyetik alan “H” ile gösterilir ve birimi Amper/metre (A/m)’dir (Seybold, 2005).

Diğer bir ifadeyle manyetik alan, elektriksel yüklerle yüklü nesnelerin yer değiştirmesiyle oluşmaktadır diyebiliriz. Manyetik alan ile akım birbiri ile orantılıdır. Manyetik alan şiddeti mesafe arttıkça azalmaktadır. Elektrik alanında elektrik alan çizgileri olduğu gibi manyetik alanda da “manyetik alan çizgileri” bulunmaktadır. Manyetik alan çizgileri ile ilgili olan “Manyetik Akı” kavramı, bir ortamda bulunan manyetik alan çizgilerinin sayısal bir ölçeği olarak tanımlanmaktadır. Mıknatıslar, manyetik alan oluşumuna örnek olarak gösterilebilir (Balcı, 2017). Manyetik alan çizgileri kapalı

çizgilerdir fakat Şekil 1.8’de görüldüğü gibi bazen manyetik alan çizgilerini sanki S kutuplu bir uçtan çıkan ve N kutuplu bir uca doğru hareket eden çizgiler olarak düşünülebiliriz (Sarıkahya, 2014).

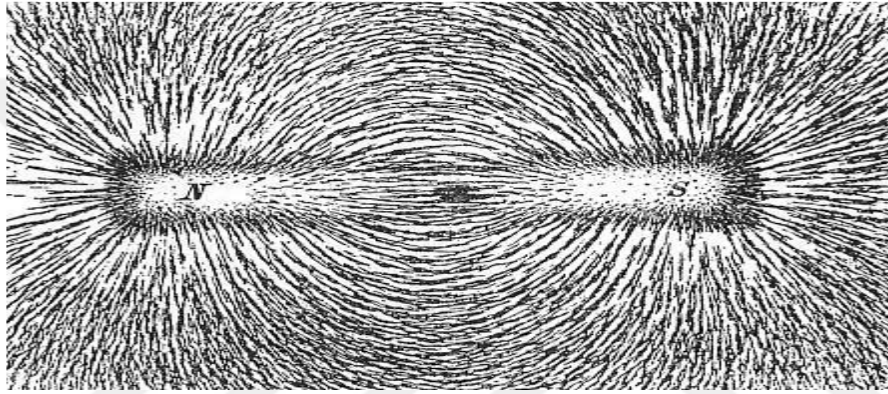
1820 yılında Oersted akımlar tarafından oluşturulan manyetik alanlara ait ilk deneysel gözlemleri yaparak, içinden akım geçen bir telin altında bulunan bir pusulanın, uzun eksenini tele dik olacak şekilde bir duruma geldiğini gözlemlemiştir. Daha sonra Biot-Savart ve Ampere’nin yaptıkları deneyler neticesinde bir iletkenin içinden akım geçtiğinde o iletkenin, çevresinde uzayın bir noktasındaki manyetik alan değerini veren denklemler bulunmuştur. Genel olarak zamanla değişmeyen bir akımın, etrafındaki uzayın herhangi bir noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti; akımın yönü, şiddeti, geometrik şekli (içinden akım geçen iletkenin şekli; dairesel, selenoid, doğru biçiminde, vb olması) ve akımı çeviren ortamın cinsine bağlı olmaktadır (Güçlü, 2011).

İletken bir cismin üzerinden akım geçirilmesi o iletkende mevcut olan elektrik yüklerinin yer değiştirmesine sebep olarak iletkenin etrafında manyetik alan ortaya çıkarmaktadır. Eğer içinden akım geçen iletkenin yakınında başka bir iletken (insan, hayvan veya cansız iletkenler) varsa meydana gelen manyetik alandaki değişiklik bu ikinci iletkenin üzerinde akım indüklenmesine sebep olmaktadır. Manyetik alanın oluşması için elektrik alanın tersine elektrik yükünün varlığı yeterli değildir, elektrik yüklerinin bir iletkenin üzerinde yer değiştirmesi gerekmektedir. Bundan dolayı çalışmayan fakat şebekeye bağlı bir şekilde elektrik akımı çekmeden duran elektrikli ekipmanlar manyetik alan üretmezler. Kısaca ifade etmek gerekirse çalışma yerinde prize takılı bir şekilde bulunan elektrikli aletler (pres, matkap, bilgisayar, elektrik kablosu v.b.) çalıştırılmadığı sürece sadece elektrik alan, çalıştırılmaya başladığında hem elektrik alan hem de manyetik alan üretir (Güner, 2014).



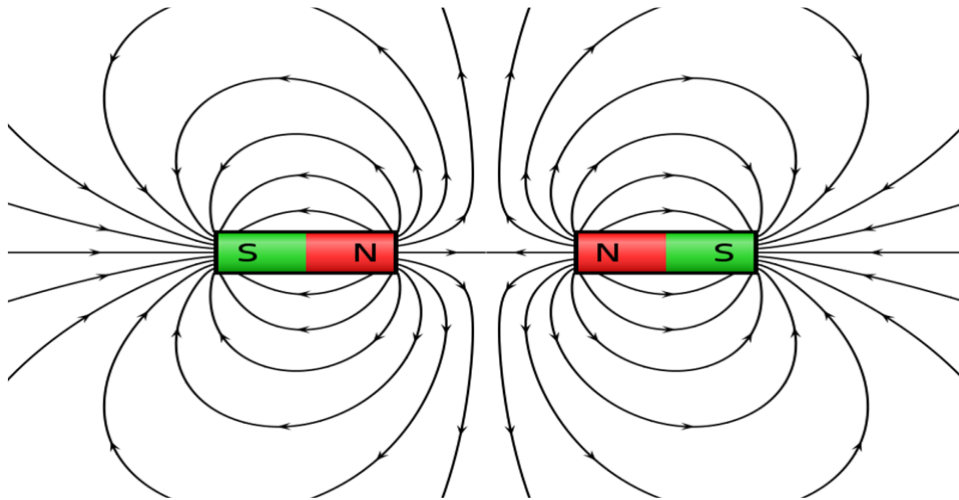
Şekil 1.8. Manyetik alan çizgileri (Sarıkahya, 2014).

Birer manyetik alan kaynağı olan mıknatısın kütle merkezi baz alınarak bir yere asıldığı zaman mıknatısın bir ucu kuzey (N), diğer ucu ise güney (S) yönünü göstermektedir. Mıknatısın kutupları gösterdikleri bu yönler göre isimlendirilmektedir. Mıknatıs tarafından oluşturulan manyetik alan, genel olarak doğrultusu N kutbundan S kutbuna doğru olan manyetik alan çizgileri ile şekillenmektedir. İkiye bölünen bir mıknatısın bölünen parçalarında tekrar N ve S kutupları oluşur. Yani, atomik düzeyde bölünmüş bir mıknatıs düşünelim dahi bu mıknatısı, asla tek kutba sahip bir mıknatıs olmayacaktır (Balcı, 2017).



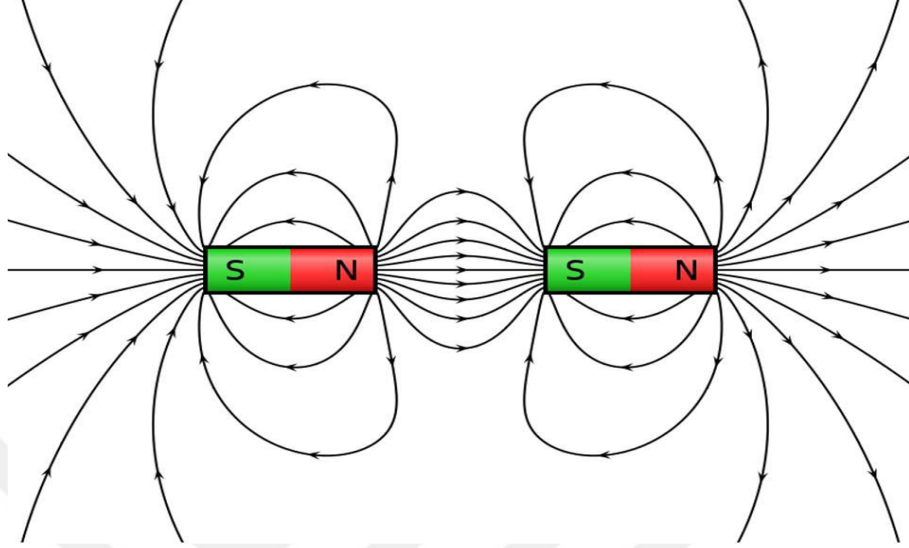
Şekil 1.9. Manyetik alan çizgilerinin demir tozları ile gösterilmesi (Balcı, 2017).

Aynı yüklü mıknatıs kutuplarının birbiriyle olan etkileşimi Şekil 1.10.'da gösterilmiştir.



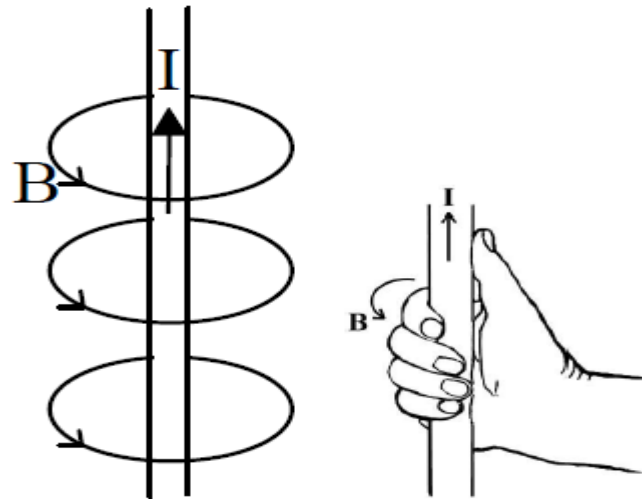
Şekil 1.10. Aynı yüklü kutupların birbirlerine uyguladıkları itme kuvveti gösterimi (Balcı, 2017).

Farklı yüklü mıknatıs kutuplarının birbiriyle olan etkileşimi Şekil 1.11.'de gösterilmiştir.

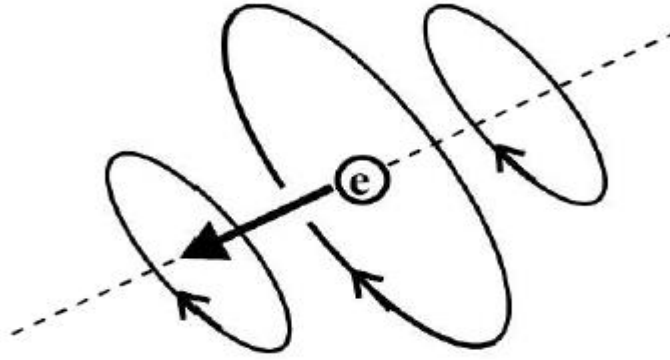


Şekil 1.11. Farklı yüklü kutupların birbirlerine uyguladıkları çekme kuvveti gösterimi (Balcı, 2017).

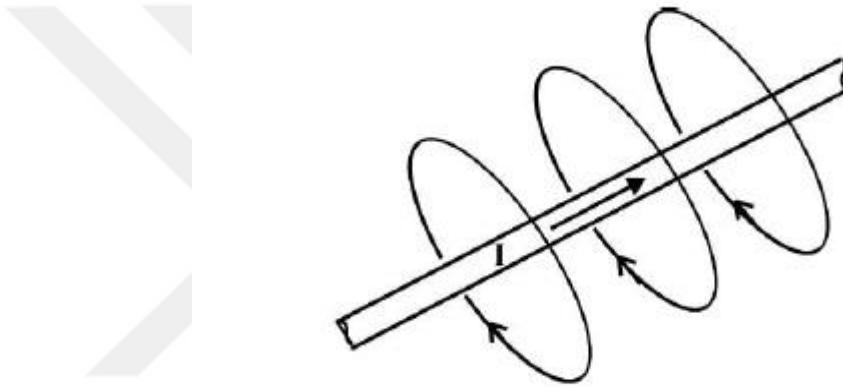
Akım taşıyan bir iletkenin etrafında oluşan manyetik alan şekil 1.12'de gösterildiği gibi sağ el kuralı ile bulunmaktadır. Sağ el kuralında baş parmak iletkenin geçen akımın yönünü diğer dört parmak ise manyetik alan yönünü göstermektedir. Manyetik alan çizgileri halka şeklinde ve sürekli, bitiş noktaları yoktur (Polat, 2017).



Şekil 1.12. Sağ el kuralı ile manyetik alan yönünün bulunması (Seyfi, 2006).



Şekil 1.13. Hareketli bir elektronun manyetik alan çizgileri (Seyfi, 2006).



Şekil 1.14. DC akım akan iletkenin oluşturduğu manyetik alan çizgileri (Seyfi, 2006).

Andre-Marie Ampere, kapalı bir eğri üzerinden integrali alınan bir manyetik alan ile o eğri üzerindeki elektrik akımı arasındaki ilişkiyi (1.9) eşitliği ile açıklamıştır. Burada $\oint$ kapalı C eğrisi üzerinden alınan çizgi integralini, B manyetik akı yoğunluğunu, dl sonsuz küçüklikteki çizgi elemanı, μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliğini ve I ile kapatılan alandan geçen akımı göstermektedir (Keysan, 2015).

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \quad (1.9)$$

Manyetik geçirgenlik “ μ ” ile gösterilir ve birimi Henry/metre (H/m)’dir. Manyetik geçirgenlik, bağlı manyetik geçirgenlik (μ_r) ve serbest uzayın manyetik geçirgenliğinin (μ_0) çarpımına eşittir. Serbest uzayın bağlı manyetik geçirgenliği 1’dir (Seybold, 2005; Saunders ve Aragon, 2007). Manyetik geçirgenlik;

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad (1.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Serbest uzayın manyetik geçirgenliği;

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (\text{H/m}) \quad (1.11)$$

şeklindedir (Seybold, 2005; Saunders ve Aragon, 2007).

Bazı malzemelerin μ_r değerleri Tablo 1.1.'de verilmiştir. Tablo 1.1'de verildiği üzere, ferromanyetik malzemelerin μ_r 'si büyüktür. μ_r 'nin asıl değeri malzemeye ve malzemedeki $\vec{B}$ değerine bağlı olmaktadır. Özellikle biyolojik etkiler açısından manyetik alanı karakterize etmektedir (Güçlü, 2011).

Tablo 1.1. Bazı malzemelerin μ_r değerleri (Güçlü, 2011).

Malzeme	Manyetiklik Türü	μ_r
Gümüş	Diyamanyetik	0,99998
Bakır	Diyamanyetik	0,999991
Vakum	Manyetik olmayan	1,0
Alüminyum	Paramanyetik	1,00002
Kobalt	Ferromanyetik	250
Nikel	Ferromanyetik	600
Yumuşak çelik	Ferromanyetik	2000
Demir	Ferromanyetik	5000
Mumetal	Ferromanyetik	100000
Supermalloy	Ferromanyetik	800000

Manyetik akı yoğunluğu; Weber/m², Gauss veya Tesla birimleri ile ölçeklenmektedir. Bu birimlerin birbirleriyle olan ilişkisi (1.12) eşitliğinde belirtilmiştir. Manyetik akı yoğunluğunun ($\vec{B}$), manyetik alan şiddeti ($\vec{H}$) ile ilişkisi ise (1.13) eşitliğinde gösterilmiştir (Seybold, 2005; Keysan, 2015).

$$10^4 \text{ Gauss} = 1 \text{ Tesla} = 1 \text{ Weber/m}^2 \quad (1.12)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \text{ (Weber/m}^2 \text{)} \quad (1.13)$$

B manyetik akı yoğunluğunda $\vec{v}$ hızı ile hareket eden q birim yüklü bir parçacığın üzerinde oluşan manyetik kuvvet (1.14) eşitliği ile gösterilmiştir (Keysan, 2015).

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1.14)$$

Manyetik alan vektörü $\vec{H}$, bölgedeki akımın varlığından dolayı oluşan manyetik alanı tanımlamaktadır. Bölgedeki akımların ayrıntıları biliniyorsa, o bölgede her noktada $\vec{H}$ 'ın büyüklüğü ve yönü belirlenebilmektedir. $\vec{H}$ 'nın büyüklüğü uzaklık arttıkça hızla azaldığından, sadece yakındaki alanlarla ilgilenilebilmektedir. İçinden I akımı akan bir iletkenin r uzaklığındaki bir noktada manyetik alan şiddeti;

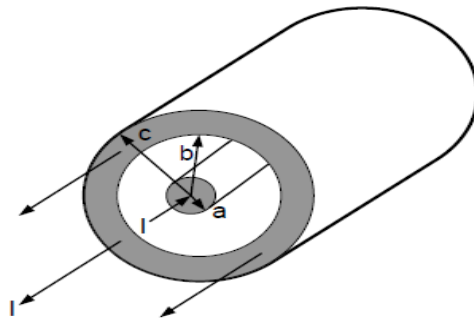
$$H = \frac{I}{2\pi r} \text{ amper/metre} \quad (1.15)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır (Güçlü, 2011).

Vektörel notasyonda;

$$\vec{H} = \frac{I\hat{\phi}}{2\pi r} \text{ amper/metre} \quad (1.16)$$

şeklinde gösterilir. Burada $\hat{\phi}$ birim vektörü, Şekil 1.15'te gösterilen pozitif yönde r yarıçaplı daireye teğet olmaktadır. Amper Akım Yasası statik manyetik alanda, simetrik akım dağılımında birçok problemin çözümüne olanak vermektedir. Amper yasası kullanılarak Şekil 1.15'te gösterilen uzun eş eksenli kabloun çevresindeki manyetik alan dağılımı, kolaylıkla elde edilebilmektedir (Güçlü, 2011).



Şekil 1.15. Bir koaksiyel (eş eksenli) kablo (Güçlü, 2011)

İletkenler arası bölgede ($a < r < b$)

$$H = \frac{I}{2\pi r} \text{ amper/metre} \quad (1.17)$$

olmaktadır. Burada r , içteki iletkenin eksenine olan uzaklığıdır ve dış iletkenin ötesinde, kapalı akım yolu sıfır olduğu için $H=0$ ($r > c$) olmaktadır (Güçlü, 2011).

A (m^2) alanından geçen manyetik akının büyüklüğü;

$$\phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} \text{ (weber)} \quad (1.18)$$

şeklinde gösterilmektedir. Burada $\vec{B} \cdot d\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $d\vec{A}$ vektörlerinin skaler çarpımını; $d\vec{A}$ alanın diferensiyel faktörünü ifade etmektedir. Eğer A normal olarak B tarafından girilmiş yüzey alanıysa o zaman $\phi = BA$ olmaktadır (Güçlü, 2011).

$H \cdot dL$ çevre integrali, Stokes teoremi sayesinde rot $\vec{H}$ 'nin yüzey integraline denklem (1.19)'da gösterildiği gibi dönüştürülebilmektedir.

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S (\vec{\nabla} \times \vec{H}) \cdot d\vec{S} \quad (1.19)$$

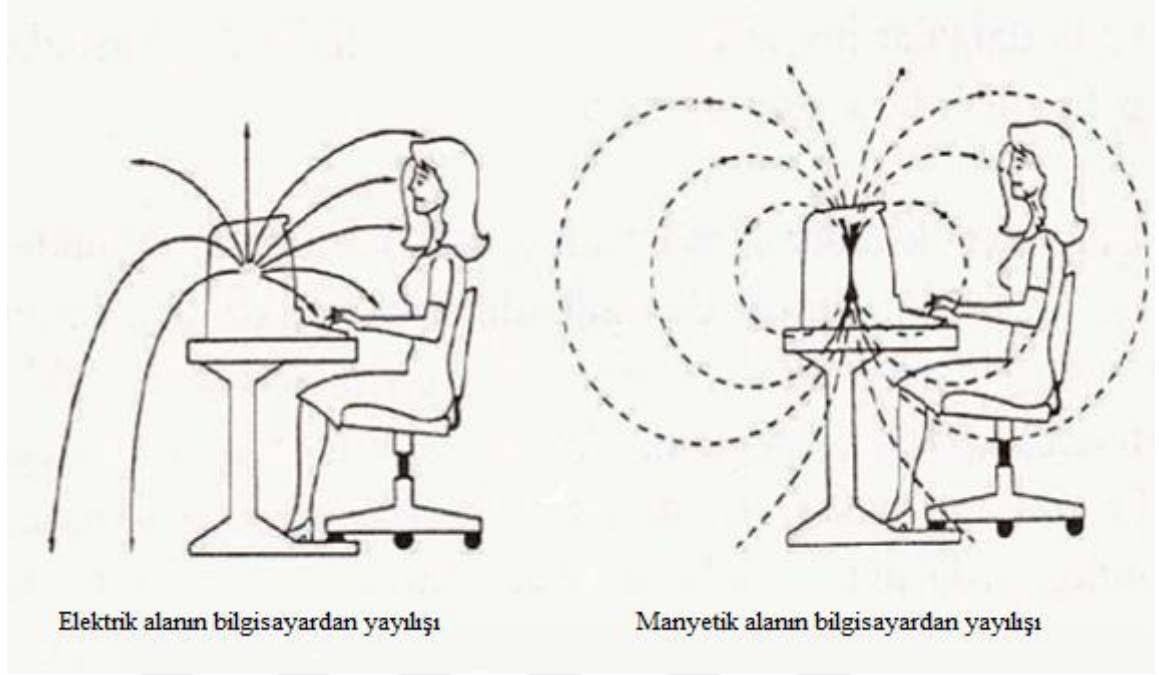
Burada “ S ” yüzeyi çizgisel integraldeki C çevresinin içinde kalan bölgeyi temsil etmektedir (Güçlü, 2011).



Şekil 1.16. Elektrik alan ve manyetik alanın karşılaştırılması (Güner, 2014).

Tablo 1.2. Elektrik alan ile manyetik alanın karşılaştırılması (Sarıkahya, 2014).

ELEKTRİK ALAN	MANYETİK ALAN
Elektrik alan şiddeti, gerilim ile doğru orantılı olarak değişmektedir.	Manyetik alan şiddeti, akım ile doğru orantılı olarak değişmektedir.
Ölçü birimi (V/m)'dir	Ölçü birimi (A/m) veya Tesla'dır.
Cihazlar prize bağlı konumdayken, açma kapama düğmeleri kapalı durumda olsa bile elektrik alan oluşur.	Manyetik alanın oluşması için ortamda elektrik akımının olması gerekmektedir. Yani cihaz prize bağlı ve açma kapama düğmesi açık pozisyonda (çalışır durumda) olması gerekmektedir.
Elektrik alan şiddeti kaynaktan uzaklaştıkça azalmaktadır	Manyetik alan şiddeti kaynaktan uzaklaştıkça azalmaktadır.
Bina yapı malzemelerinin büyük çoğunluğu elektrik alan için yalıtım etkisi yapabilmektedir.	Manyetik alan şiddetini azaltan malzeme sayısı son derece sınırlıdır.
Elektrik alanlar duvarlardan geçemez; hatta insan derisinden bile geçerken şiddeti çok düşmektedir.	Manyetik alanlara, özel olarak üretilmiş bazı malzemeler dışında, hemen hemen hiçbir malzeme engel oluşturmamaktadır. Yani manyetik alanlar neredeyse her yerden geçebilmektedir.
Elektrik alanlar insan bedeninin yüzeyinde zayıf akımlar oluşturmaktadır.	Manyetik alanlar Şekil 1.17'de görüldüğü gibi bedenin içine girip bu tür zayıf akımların iç organlarda dahi oluşmasına yol açmaktadır. Gerçekte manyetik alanlar, çevrelerinde bulunan tüm iletkenlerde (insan bedenini de bir iletken olarak düşünülebilir) akım oluşturmaktadır. Bu akımların yönü manyetik alana dik olmaktadır.



Şekil 1.17. Elektrik alan ve manyetik alanın bilgisayardan yayılışı (İnce, 2007).

1.2.4. Maxwell Denklemleri

Maxwell'in yaptığı çalışmalar neticesinde elde ettiği denklemler elektromanyetik teorisinin, dolayısıyla haberleşmenin önünün açılmasını sağlamıştır. Bu denklemlere James Clerk Maxwell'in formüle etmesi nedeniyle Maxwell denklemleri denilmektedir. Elektrik ve manyetik alanları arasındaki ilişki Maxwell Denklemleri olarak bilinen 4 yalın denklem ile açıklanmaktadır. Bu dört denklem sayesinde elektromanyetik dalgaların tüm özellikleri eksiksiz bir şekilde açıklanmaktadır (Yaman, 2011; Keysan, 2015).

Manyetik alan, elektrik alan, akım ve onları yaratan yükler arasındaki bağlantıyı açıklayan Maxwell denklemleri elektromanyetizmanın temel teorisini oluşturmaktadır. Zamana göre değişen manyetik alanın bir elektrik alanı oluşturması ve zamana göre değişen elektrik alanın bir manyetik alan meydana getirmesi esaslarına dayanan Maxwell denklemleri herhangi bir dielektrik ve manyetik malzemenin olmadığı ortamda, yani serbest uzayda Tablo 1.3.'te verilen denklemlerle ifade edilmektedir (Polat, 2017).

Tablo 1.3. Maxwell denklemlerinin diferansiyel ve integral gösterimi (Cheng, 2009).

Yasa Adı	Diferansiyel Gösterimi	İntegral Gösterimi
Gauss Yasası	$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$	$\oint_C \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho dv$
Manyetizma için Gauss Yasası (Tek kutuplu manyetik yük yoktur)	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$
Faraday'ın İndüksiyon Yasası	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$
Ampère Yasası (Maxwell'in eklemesiyle)	$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$

Tablo 1.3'de ifade edilen yasalar açıklanacak olursa;

- Gauss Yasası, herhangi kapalı bir yüzeyden geçen toplam elektrik akısının bu yüzey içindeki net yükün ϵ_0 'a bölümüne eşit olduğunu,
- Manyetik Gauss Yasası, kapalı bir yüzeyden geçen net manyetik akının sıfır olduğunu,
- Faraday Yasası, değişen bir manyetik alanın oluşturduğu elektrik alanını,
- Ampère Yasası, değişen elektrik alanı ve elektrik akımları tarafından oluşturulan manyetik alanın oluşumunu ifade etmektedir (Yaman, 2011).

Bunlara ek olarak yük ve akım bulunmayan boş uzayda $\rho=0$, $J=0$ olduğunda Maxwell denklemleri;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0 \quad (1.20)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0 \quad (1.21)$$

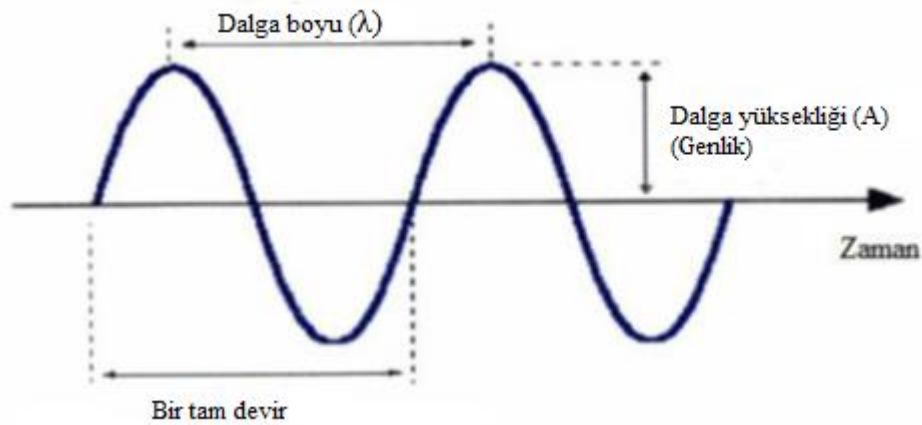
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t \quad (1.22)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \partial \vec{E} / \partial t \quad (1.23)$$

şeklinde olmaktadır (Griffiths, 1999).

1.2.5. Dalga

Boşlukta ve madde içinde yayılabilen ritmik olaylara dalga denmektedir. Her dalganın dalga boyu, genlik, frekans, periyod, hız ve ilerleme yönü gibi karakteristik özellikleri vardır. Dalga yapısı Şekil 1.18’de görülmektedir (Arslantaş, 2012).



Şekil 1.18. Dalga ve özellikleri (Arslantaş, 2012).

Dalga boyu: Bir dalganın birbirini izleyen iki tepe nokta arasındaki mesafeye denmektedir. Birimi uzaklık mesafe birimidir (m,cm vb.) (Schmitt, 2002).

Genlik: Bir dalganın başlangıç konumundan yükselme ve alçalma mesafesine denir. Genlik dalgayı ortaya çıkaran enerji miktarına bağlı olmakla birlikte enerjinin artması genliğin de artmasına neden olmaktadır (Schmitt, 2002).

Frekans: Bir dalganın bir saniyede yaptığı salınım sayısıdır ve birimi Hertz (Hz)'dir (Schmitt, 2002).

Periyot: İki dalga tepesi arasındaki süreye periyod (T) denir (Schmitt, 2002).

Hız: Bir dalganın hızı (v); dalga boyu ile frekansın çarpılmasıyla elde edilmektedir. Birimi saniyede aldığı yoldur (m/s) (Schmitt, 2002).

$$v = \lambda \cdot f \quad (1.24)$$

Burada; λ dalga boyu ve f ise frekansı ifade etmektedir.

Işık hızı ile dalga boyu arasındaki ilişki denklem (1.24) ile ifade edilmektedir. Boşlukta saniyedeki hızı yaklaşık olarak 300 000 km olan ışık hızı frekansa bölündüğünde, elektromanyetik dalganın dalga boyu elde edilmektedir (Schmitt, 2002).

1.2.6. Elektromanyetik Alan

Elektriksel kaynaktaki yükler zamana göre değiştiği için bu yükler tarafından oluşan E ve H alanları dalga halinde bir enerji yaymaktadır. Yayılan dalga enerji büyüklüğü, kaynağın boyutları yüklerin hareketlerinin dalga boyu ile aynı mertebede olduğunda artacaktır. Bu şekildeki elektriksel enerji yayılımına EM ışınım yada elektromanyetik (EM) dalga yayılması denmektedir. Havada EM dalga enine dalga (TEM) halinde yayılmaktadır. Şekil 1.19 ve Şekil 1.20'de bir TEM dalgasının (Enine EM dalganın) yayılması gösterilmektedir. TEM dalgasında; E, H alan bileşenleri yayılma doğrultusu boyunca sıfırdır. Yayılma doğrultusuna dik olan düzlemde E, H alan bileşenleri vardır ve bunlar bu düzlemde birbirlerine dik olmaktadır. E/H oranı dalga empedansı olarak bilinir ve sabittir. Serbest uzay için $E/H=377\Omega$ 'dur. E ve H alanları, uzak alan bölgesinde r uzaklığı ile ters orantılı olarak ($1/r$) değişmektedir (Cansız, 2010).

TEM dalgasının yayılım hızı (Enerji Taşıma Hızı);

$$V = c / \sqrt{\epsilon_r} \quad (1.25)$$

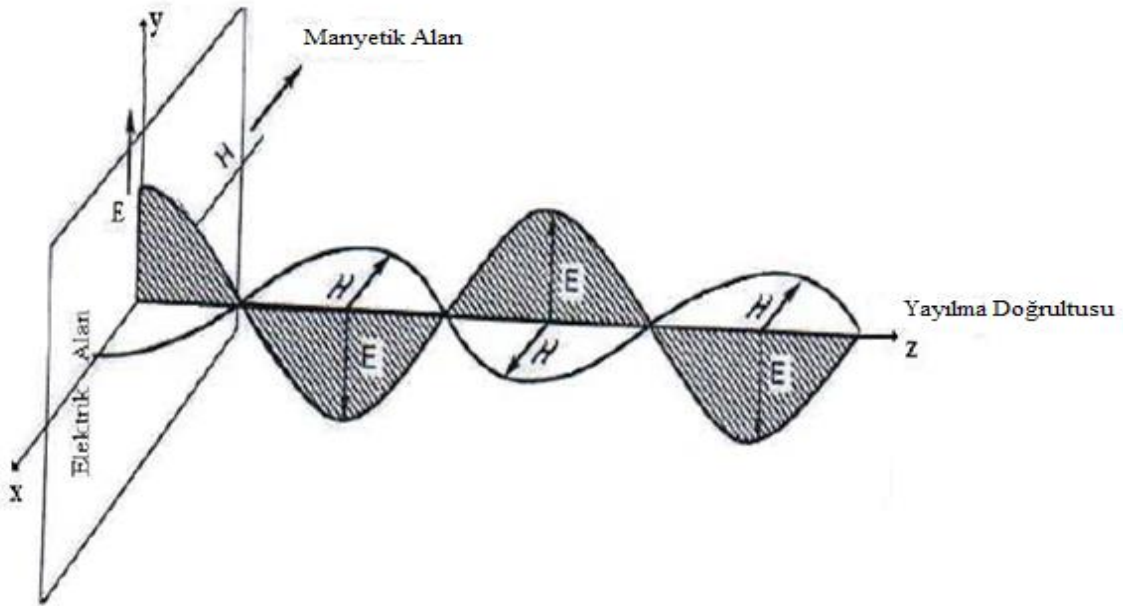
şeklindedir. Denklem (1.25)'te c ışık hızını ϵ_r ise ortamın dielektrik katsayısını göstermektedir. Boşlukta ve havada ($\epsilon_r \cong 1$) $v \cong c = 3.10^8$ m/sn'dir. Enerji akışı, dalga yayılması veya parçacık akışı şeklinde olduğundan bu elektromanyetik dalganın “dalga – parçacık” ikili davranışı olarak bilinmektedir. Işınım enerjisi Joule cinsinden

$$W = h f \quad (1.26)$$

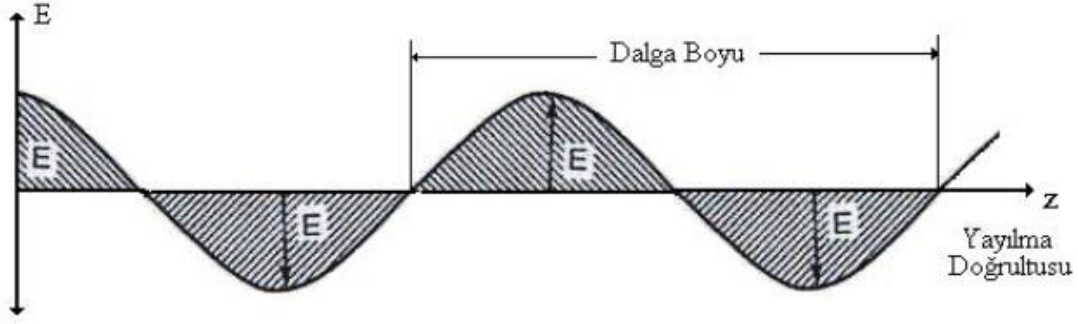
eşitliğiyle ile verilmektedir. Burada h ; planck sabitidir. ($h = 6,626.10^{-34}$ J.s) ve f hertz cinsinden frekanstır. Elektron-Volt (eV) cinsinden ışınım enerjisi ise

$$W = 4,14125 \cdot 10^{-15} f [\text{eV}] \quad (1.27)$$

şeklinde verilebilmektedir (Cansız, 2010). ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)



Şekil 1.19. Bir TEM dalgasının üç boyutlu değişimi (Cansız, 2010).



Şekil 1.20. Bir TEM dalgasının, E alanı bileşenin değişimi (Cansız, 2010).

Belli bir frekansta salınan ve birbirleri arasında belli bir mesafe olan bir dizi dalga şeklinde tanımlanan elektromanyetik alan kavramı diğer bir ifadeyle elektrik alan ile manyetik alanın birleştirilmiş hali olarak da ifade edilebilmektedir. Elektromanyetik alanlar alçak frekanslı enerji iletim hatlarından radyo ve görülebilir ışık frekanslarına, boyu bir metrenin trilyonda biri ile ifade edilecek kadar kısa dalga boyuna sahip çok yüksek frekanslı tıbbi x-ışınlarına kadar çok geniş bir frekans aralığını kapsamaktadır. Elektromanyetik alan, elektromanyetik enerji taşıyan bir dalga hareketi olarak da ifade edilebilmektedir. (Yaman, 2011).

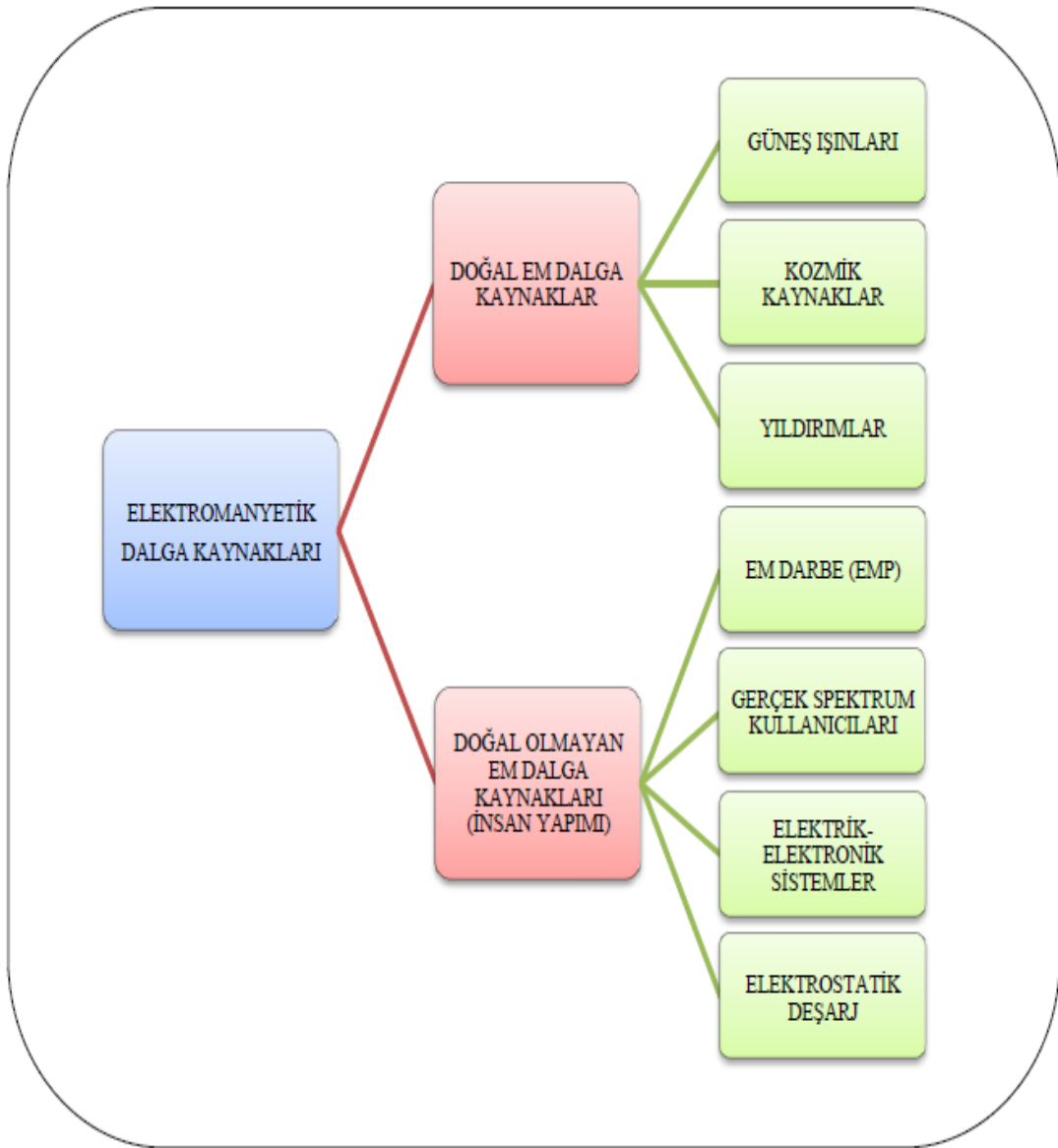
Işıma (radyasyon), enerjinin parçacık ya da dalga biçiminde uzayda yayılması durumu olarak tanımlanmaktadır. Elektromanyetik ışıma ise elektrik ve manyetik alan dalgalarının uzayda birlikte ilerlemesi şeklinde tanımlanmaktadır. Işımalar dalga boylarıyla veya frekansları ile ifade edilirler. Elektromanyetik tayf frekans eksenini üzerindeki tüm elektromanyetik dalga türlerini bir arada gösteren çizelgeye denmektedir. Elektromanyetik tayfin bir ucunda yüksek enerjili Gamma ışınları, hemen altında yüksek enerjili x-ışınları, tayfin diğer ucunda da “aşırı düşük frekanslı” alanlar yer almaktadır (Dilek, 2014).

Elektromanyetik radyasyon, elektromanyetik enerjinin yayılımını ifade eder. Elektromanyetik radyasyon ikiye ayrılarak; madde içine nüfuz ettikten sonra iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan olarak tanımlanmıştır (Keysan, 2015).

İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon arasındaki temel fark radyasyonun taşıdığı enerji miktarıdır. İyonlaştırıcı radyasyon iyonlaştırıcı olmayan radyasyona göre daha çok enerji taşır (Silsüpür, 2014)

Elektromanyetik dalgalar, doğal ve yapay (insan yapımı) kaynaklar tarafından yayılmakta ve yaşamımızda önemli bir yer kaplamaktadır. Radyo Frekans (RF) bölgesi kapsamında bulunan elektromanyetik dalgalar iletişimde, radyo ve televizyon yayınlarında

kullanılmaktadır. Doğal ve doğal olmayan elektromanyetik dalga kaynakları Şekil 1.21’de gösterilmektedir. Elektromanyetik dalga kaynakları aynı zamanda elektromanyetik girişim kaynaklarıdır. Elektromanyetik dalgalar yüksek frekanslı ve düşük frekanslı olarak sınıflandırıldığında yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar elektromanyetik radyasyon, düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar ise elektromanyetik alanlar olarak sınıflandırılabilir (Yaman, 2011).



Şekil 1.21. Elektromanyetik dalga kaynakları (Yaman, 2011).

Yapay elektromanyetik alanlar, insan etkisi ile oluşan elektromanyetik alanlar olarak tanımlanmaktadır. Elektrik enerjisi ile çalışan ya da elektrik enerjisini aktaran cihazlar yapay

elektromanyetik alan kaynağı sayılmaktadır. Bunlardan bazıları radyo frekans enerjisi üretmek amacıyla yapılmış olan cihazlar olup, cihaz çıkış üniteleri bir verici antene bağlanmak sureti ile etkili kapsama alanı oluşturmaktadırlar. Radyo frekans dalgaları üreten verici antenler açık alanda elektromanyetik kirliliğin kaynağını büyük oranda yaratan unsurlar olmaktadır. Bu tip aygıtların yarattığı elektromanyetik alan kirliliği çıkış gücü oranında olmaktadır (Polat, 2013; Polat, 2017).

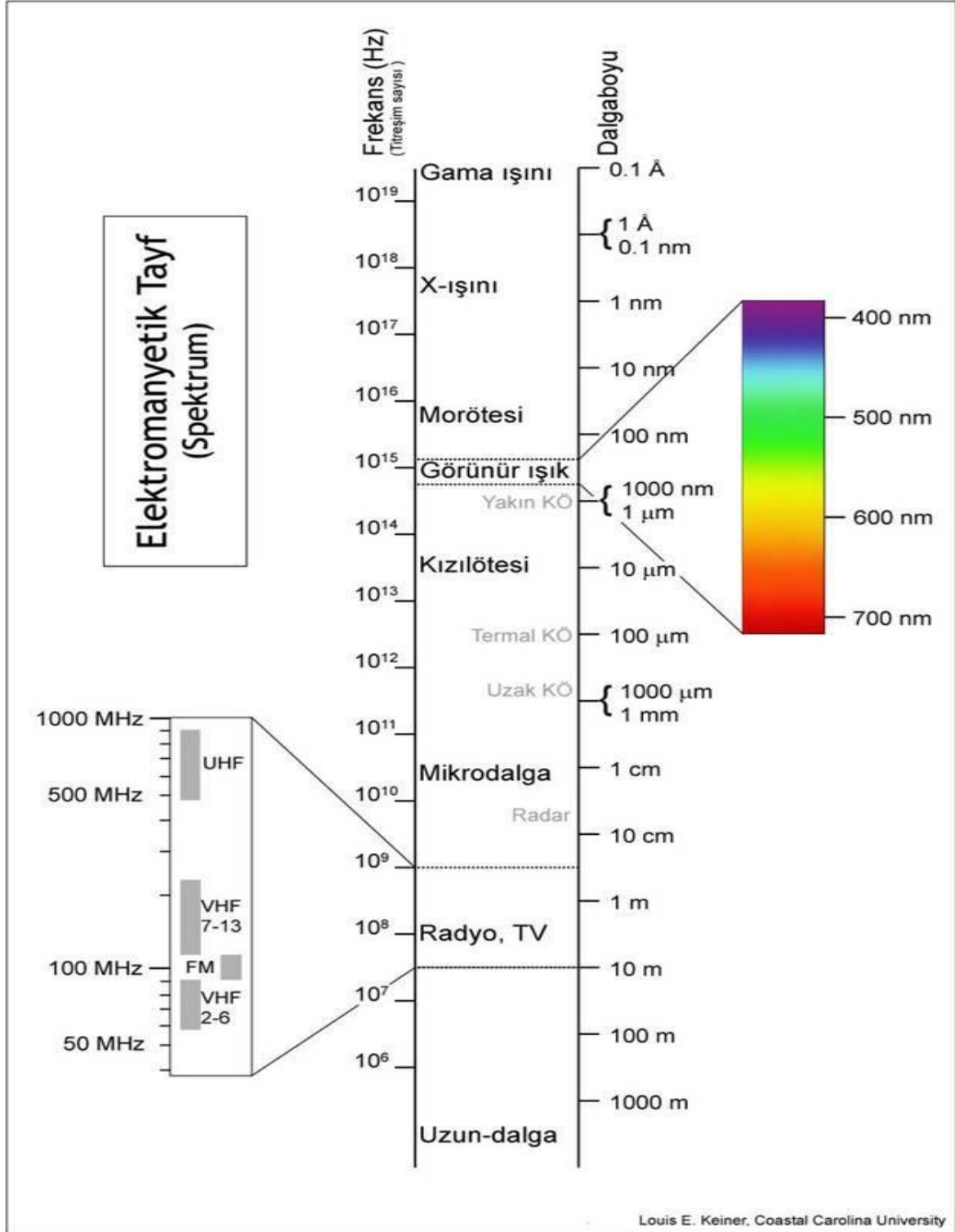
Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından enerji nakil hatlarının taşıyıcı kablolarının altında 10.000 V/m'ye kadar elektrik alanı oluşturduğunu bildirmektedir. Ayrıca bunlara ek olarak, evlerimizde kullandığımız elektrikli ev aletlerinin 30 cm ve daha kısa mesafelerde çok daha fazla elektrik alan şiddeti meydana getirdiklerini, bu cihazlardan; bir müzik setinin 30 cm mesafede 180 V/m, ütünün 120 V/m, buzdolabının 120 V/m, mikserin 100 V/m, tost makinesinin 80 V/m, saç kurutma makinesinin 80 V/m, kahve makinesinin 60 V/m, televizyonun 60 V/m, elektrikli süpürge'nin 50 V/m, elektrikli fırının 8 V/m ve ampulün ise 5 V/m elektrik alanı oluşturduğunu belirtmektedir (Polat, 2017).

Doğal elektromanyetik alanlar doğada insan etkisiyle ortaya çıkarılmayan elektromanyetik alanlar olarak ifade edilmektedir. Güneş sistemi içerisinde gezegenden gezegene farklılık gösteren doğal bir elektromanyetik ortamı barındırmaktadır. Üzerinde yaşadığımız gezegen olan dünyanın yerküre merkezindeki yarı sıvı ferro manyetik çekirdek sürekli statik jeomanyetik alan yaymaktadır. İnsanlar diğer canlılarla beraber 40 μ T değerlerinde elektromanyetik alan yayan dev bir mıkna'tsın üzerinde yaşamaktadır. Bulutlu havalarda yıldırım oluştuğu sırada elektrik alan kısa bir süre içerisinde 40kV/m ye kadar çıkabilmektedir. Güneşten dünyamıza çarpan elektromanyetik dalgalar her saniyede metreka'e başına 1400 Joule enerji verebilmektedir. Dünyayı saran atmosfer tabakası sayesinde güneşte veya uzak yıldızlarda oluşan x-ışınları veya gama ışınları gibi iyonlaştırıcı elektromanyetik dalgalar yeryüzüne ulaşamamaktadır (Keysan, 2015).

1.2.7. Elektromanyetik Spektrum

EM spektrum, doğada mevcut ya da üretilen EM dalgaların bütünüdür. EM spektrum çok geniş olup, muhtelif kesimlerinde değişik fiziksel etkileri söz konusudur. Spektrumdaki her çeşitteki dalga farklı bir frekansa ve dalga boyuna sahiptir. Bu dalgaların tamamı aynı hızla hareket etmektedir ve spektrumda yer alan tüm dalgalar enine dalgalardır (Genç, 2010). Bu çalışma kapsamında, ortamda haberleşme yapılması sonucu oluşan EM

dalgalarla ilgili spektrum kesimi üzerinde durulması amaçlanmıştır. EM spektrum Şekil 1.22’de verilmiştir.



Şekil 1.22. Elektromanyetik spektrum (URL-1, 2018).

1.2.7.1. Radyo frekans spektrumu

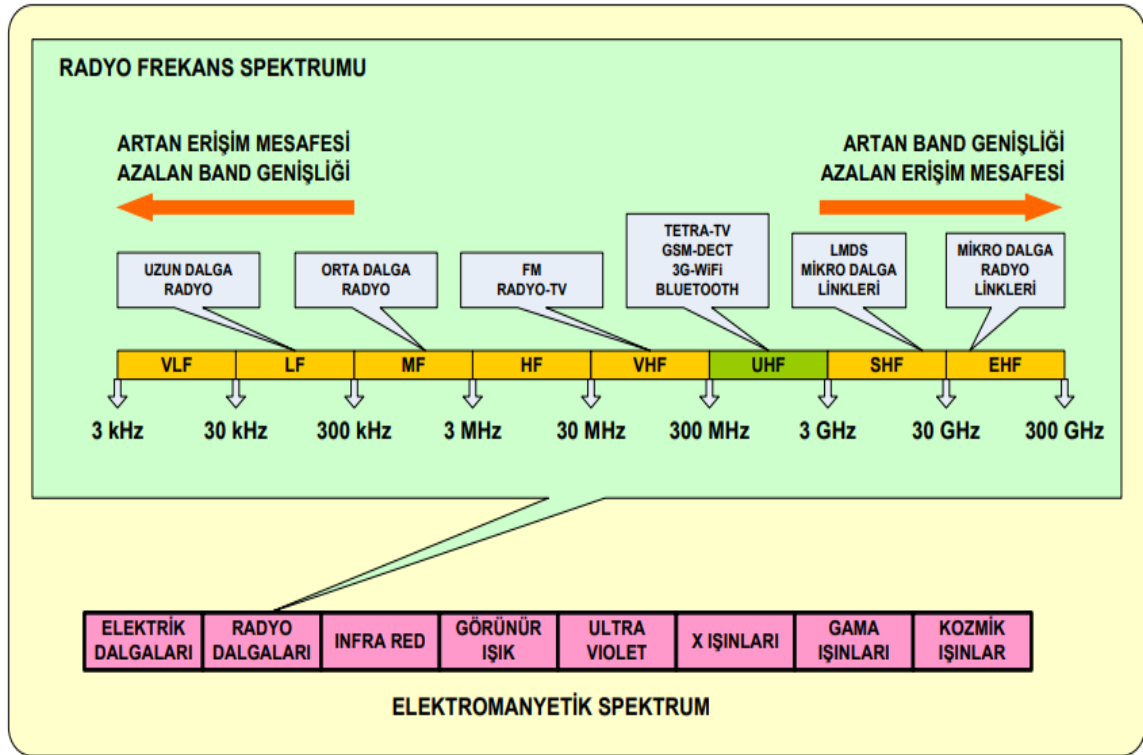
Uzun dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar düşük frekans ve düşük enerjiye, kısa dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar ise yüksek frekans ve yüksek enerjiye sahip olmaktadır (URL-2, 2018). Bu ifadeden hareket edilerek elektromanyetik tayfta isimlendirilen dalgalar band, frekans ve dalga boylarına göre Tablo 1.4’te sınıflandırılmıştır.

ITU (International Telecommunication Union) kabullerine göre elektromanyetik spektrumda 300 GHz’in altında kalan kısım RF spektrumu ve bu kesimdeki EM dalgalar da RF dalgaları olarak isimlendirilir (ICNIRP 1998).

RF spektrumu kullanımına bakıldığında, her ne kadar 300 GHz frekansına kadar planlama yapılsa da günümüz cihaz ve teknolojilerinde yaygın kullanımın 60 GHz frekansa kadar olduğu görülmektedir. Basta telsiz sistemleri olmak üzere, FM radyo frekansı (88–108 MHz), VHF-UHF televizyon ve hücresel sistemler (GSM 900 MHz ve 1800 MHz) yoğun olarak kullanılmaktadır. 3 GHz’in üzerindeki RF spektrumunda, ağırlıklı olarak noktadan-noktaya karasal ve uydu uplink/downlink sistemleri kullanıldığı, bu tip sistemlerin parabolik antenler ve yönlülük özellikleri çerçevesinde çoğunlukla şehir yerleşim alanları dışında kaldığı dikkate alındığında; EM kirlilik üzerindeki etkilerinin ihmal edilebileceği sonucuna varılmıştır (Genç, 2010).

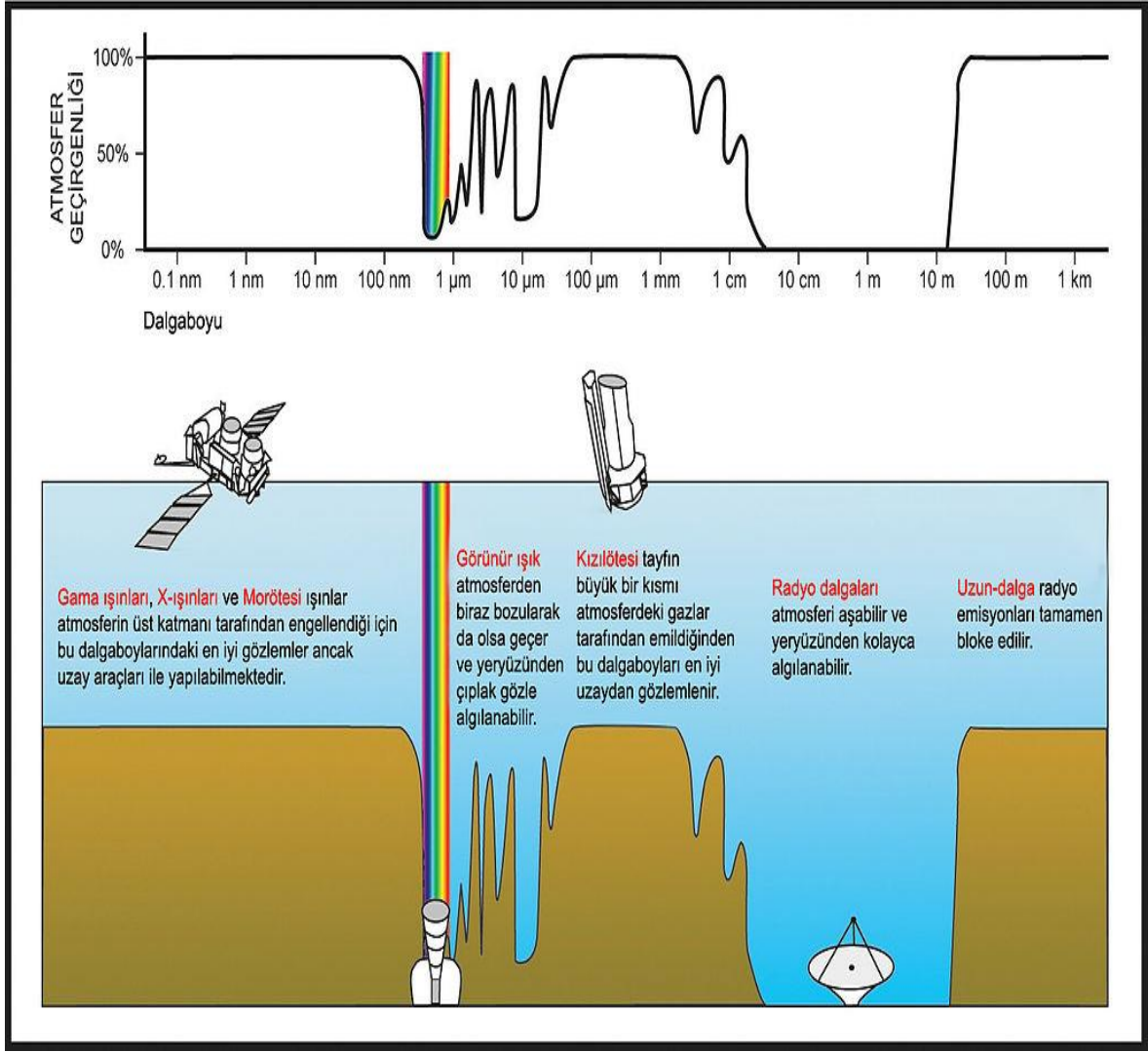
Tablo 1.4. Radyo frekans bandlarının kullanım alanına göre sınıflandırılması (Genç, 2010).

Band	Frekans	Dalga Boyu	Kullanıldığı Yer
VLF	3 –30 kHz	100 – 10 km	Navigasyon, Sonar
LF	30 – 300 kHz	10 – 1 km	Radyo ile yön bulma, seyir ve navigasyonel yardım
MF	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m	AM yayını, deniz radyosu, yön bulma
HF	3 –30 MHz	100 – 10 m	Telefon, telgraf, faks, kısa dalga uluslar arası radyo yayını
VHF	30 – 300 MHz	10 – 1 m	TV, FM yayını, hava trafik kontrolü, polis, taksi mobil haberleşme
UHF	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm	TV, uydu haberleşmesi
SHF	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	Uçak radarı, mikrodalga linkleri, kara-mobil haberleşme, uydu haberleşmesi
EHF	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm	Radar, deneysel amaçlar



Şekil 1.23. EM spektrumun bölümleri ve radyo frekans spektrumu (Paçacı ve ark., 2010).

Dünya'nın üst atmosferinde meydana gelen çoğu radyasyon, yere ulaşmaz. Atmosfer, optik pencerede bazı radyo dalga bantları ve ışık için etkilidir. Bu, görünür bölgenin tamamını (390 nm - 780 nm) artı yakın ultraviyole, yakın kızıl ötesi ve bazı uzak kızılötesi dalga bantlarını kapsamaktadır. Kızıl ötesi (21 mm ila 1 mm) çoğu su ve karbon dioksit ve oksijen moleküllerinin emilimine maruz kalırken, çoğu ultraviyole ozonun emilimine maruz kalmaktadır. Gaz atomları ve molekülleri X-ışınları ve gama (γ) ışınlarını emer. Atmosfer birçok radyo dalgaboyuna karşı şeffafken, atmosferik absorpsiyon <2 cm ve iyonosfer dalgaları $>$ birkaç metreyi yansıtır. Sadece radyo dalgaları ve görünür ışık, Dünya'nın yüzeyine atmosferik 'pencereler' aracılığıyla ulaşabilmektedir. Bazı kızıl ötesi yüksek, kuru yerlerde tespit edilebilmektedir (URL-2, 2018)



Şekil 1.24. Atmosferin hangi dalga boylarını geçirip hangilerini bloke ettiğini özetler bir ilustrasyon. (URL-1, 2018).

1.2.8. Radyasyon Çeşitleri

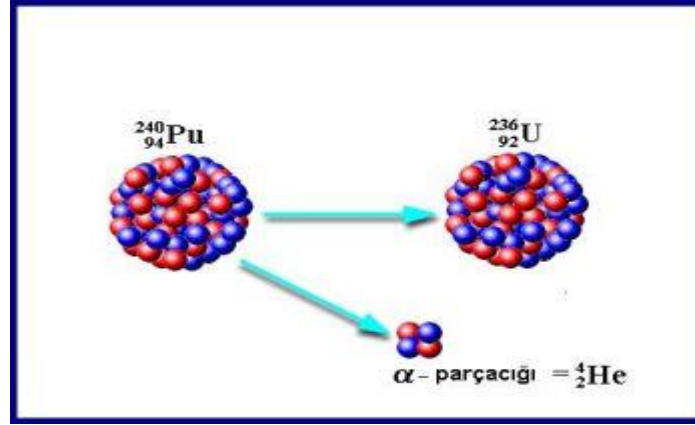
Radyasyon dalga ve parçacık tipi olmak üzere ikiye ayrılabilir. Belli bir kütlesi ve enerjisi olup aynı zamanda oldukça hızlı hareket edebilen çok küçük tanecikleri temsil eden radyasyon türüne parçacık radyasyonu denmektedir ve bu radyasyon gözle görülemez. Kütlesi olmayan ancak belli bir enerjisi olan radyasyon türüne ise dalga tipi radyasyon denilmektedir. Bu radyasyon elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibi titreşim hareketi yaparak ilerlemektedir. Görünür ışık dalga tipi radyasyona bir örnek olarak verilebilir. Dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla hareket etmekte olup enerjileri arttıkça renkleri mor ötesine doğru kaymakta ve böyle durumlarda mor ötesi olarak adlandırılmaktadırlar. Ortamda mevcut olduğu zaman görülemeyen veya hissedilemeyen

özelliği bulunan mor ötesi ışığın eğer şiddeti artarsa ciltte güneşten kaynaklı oluşan yanık lekeleri gibi etkiler meydana getirebilmektedir. Dalga ve parçacık tipi radyasyonlarda iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olmak üzere ikiye ayrılabilir (Köklü, 2006).

1.2.8.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

Radyasyonu sınıflandırmada radyasyonun enerjisi, türü ve kaynağı olmak üzere üç ana parametre kullanılır. Radyasyonun enerjisi, etkileştiği ortamdaki bir atomdan elektron koparabilecek nitelikteyse yüksek enerjili ya da iyonize olarak tanımlanır. Alfa, beta ve nötron parçacık türü radyasyonlar ile yüksek enerjili morötesi ışınlar, gama ışınları ve x-ışınlarını içeren elektromanyetik dalga türündeki radyasyonlar iyonize özelliğe sahip olan radyasyonlara örnek gösterilebilir. Düşük enerjili ya da iyonize olmayan radyasyonlar ise etkileştiği madde içindeki atomlardan elektron koparamamaktadırlar. Elektromanyetik spektrumda yer alan mikrodalgalar, görünür ışık, kızılötesi ve düşük enerjili morötesi ışık gibi radyasyonlar iyonize olmayan radyasyonlara örnektir (Çimen ve ark., 2017).

İki proton ve iki nötrondan oluşan bir helyum (${}^4_2He$) çekirdeği pozitif yüklü olup alfa parçacığı olarak adlandırılmakta ve “ α ” işaretiyle sembolize edilmektedir. Genellikle doğal radyoaktif atomlarda ve atom numarası büyük olan izotoplarda, çekirdeğin α çıkararak parçalanması görülebilmektedir. Diğer radyasyon türlerine göre daha büyük elektrik yükleri barındırmaları nedeniyle alfa parçacıkları oldukça ince maddelerle durdurulabilmektedir. İnce bir kağıt tabaka bu duruma örnek olarak verilebilmektedir. Barındırdıkları bu elektrik yüklerinden kaynaklı olarak, herhangi bir madde içerisinden geçmekte olan alfa parçacığı yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirmektedir. Bu durum sayesinde enerjilerini hızlı bir şekilde kaybetmekte olan alfa parçacıklarının erişme uzaklıkları da dolaylı olarak oldukça kısalmaktadır. Bu sebepten ötürü dış radyasyon tehlikesi yaratmamaktadır fakat yaralar, mide veya solunum nedeniyle vücuda dahil olduklarında tehlike unsuru oluşturabilmektedirler (URL-3, 2018).



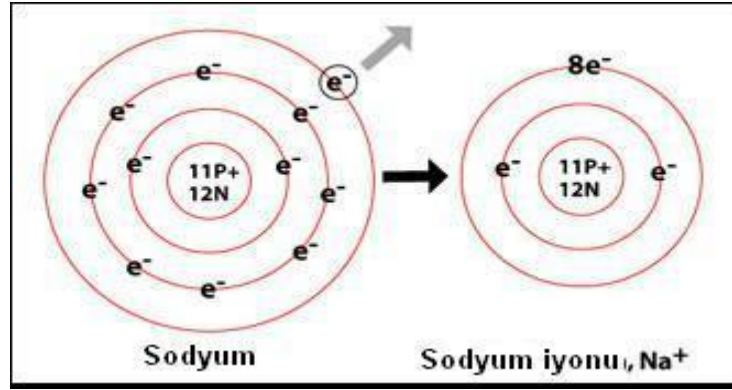
Şekil 1.25. Alfa parçacığı (Ambarcıoğlu, 2014).

Çekirdek civarında mevcut olan enerji fazlalığı, $E = mc^2$ denklemiyle ifade edilebilen, bir kütle oluşturmaktadır. Çekirdekteki fazla yükü alan bu kütle dışarıya beta ışını olarak çıkmaktadır. Bunlar negatif ve pozitif yüklü elektronlardır. Negatif yüklü iyonlar β^- ile sembolize edilirken pozitif yüklü elektronlar β^+ ile sembolize edilmektedir. Çekirdekte oluşan enerji fazlalığı protondan kaynaklanıyorsa β^+ , nötrondan kaynaklanıyorsa β^- olarak çıkmaktadır. Alfa parçacıkları gibi beta parçacıkları da belli bir yüke ve kütleye sahip olmalarından ötürü madde içerisinde geçtikleri zaman güzergahları üzerinde iyonlaşma meydana getirmektedir. Oluşan bu iyonlaşma alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmaya göre daha az olmaktadır. Bunun nedeni ise bu parçacıkların alfa parçacıklarına kıyasla daha hafif ve girici olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu durumda olsalar dahi korunmak için ince alüminyum levhadan oluşturulmuş bir malzeme yeterli olabilmektedir (Ambarcıoğlu, 2014).

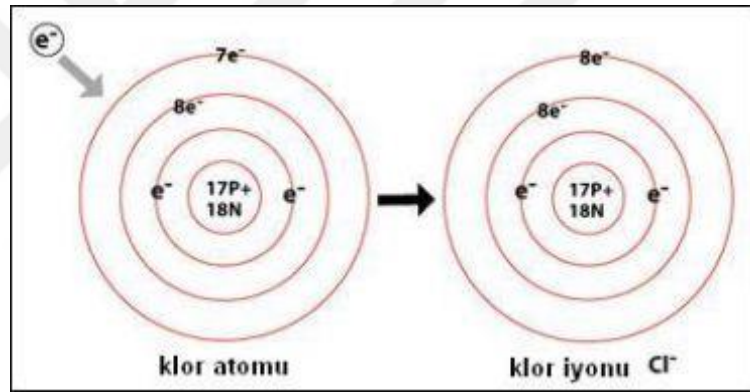
İyonlaştırıcı radyasyon, radyoaktif malzemelerin dengesiz atomları tarafından üretilen enerji veya parçacıklardır (protonlar, elektronlar veya nötronlar). Hem doğal olarak oluşan radyoaktif mineraller hem de uzaydan gelen kozmik radyasyonun bir sonucu olarak ortamda bulunur. İyonlaştırıcı radyasyon, tıp ve endüstri gibi belirli insan faaliyetleri tarafından üretilir ve nükleer tesislerdeki kazalardan ve nükleer bomba patlamasından kaynaklanabilir. Vücudun emdiği zaman, radyasyon zehirli serbest radikaller üretir. Yüksek düzeyde radyasyona maruz kalmak, insan vücudundaki dokulara büyük zararlar verebilir ve ölüme yol açabilir. Daha düşük seviyelere uzun süre maruz kalma da kötü sağlık riskiyle ilişkilidir (URL-4, 2018).

İyonizasyon, genellikle, atom yörüngesinden bir elektronun sökülüp ayrıldığında oluşmaktadır. Pozitif yüklü bir iyon, atomun yörüngesindeki bir elektronu kaybetmesiyle

oluşmaktadır. İyon, atom yörüngesine bir elektron eklenmesi durumunda da oluşmaktadır. Bu durumda oluşan iyonlar da negatif yüklü iyon olarak adlandırılmaktadır (URL-5, 2018).



Şekil 1.26. Pozitif yüklü iyon oluşumu (URL-5, 2018).



Şekil 1.27. Negatif yüklü iyon oluşumu (URL-5, 2018).

İyonlaşma, hücreye, daha da önemlisi DNA'ya zarar verebilme potansiyelini barındırdığından, kansere neden olma ihtimali oluşmaktadır. Maruz kalınan iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi ve doz miktarına göre bu ihtimal artmaktadır. Yaklaşık olarak, 10 elektron volt (eV) üzerinde enerjiye sahip parçacıklar veya foton iyonlaştırıcı özelliğe sahip radyasyon çeşitleridir (URL-5, 2018).

Radyasyon kaynakları canlılar üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmesine rağmen tıpta teşhis ve tedavi amaçlı, endüstride, nükleer reaktörlerde ve çeşitli araştırma faaliyetlerinde faydalı amaçlar için de kullanılmaktadır. Radyasyonun bu tür kullanımları, çalışanların etkili bir şekilde radyasyondan korunmalarını ve güvenliklerinin sağlanmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda radyasyon maruziyeti ölçümlerinin gerekliliği ortaya çıkmış ve radyasyon ile ilgili sınırlayıcı birimler geliştirilmiştir. Bu tür çalışmalar yapmakta olan

başlıca uluslararası kuruluşlar; 1957 yılında kurulan Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA)(www.iaea.org), 1928 yılında kurulan iyonize radyasyon maruziyeti sonucunda oluşabilecek kanser gibi hastalıkların önlenmesi çalışmalarını yürüten Uluslararası Radyolojiksel Korunma Komisyonu (ICRP) (www.icrp.org), 1955 yılında Birleşmiş Milletler tarafından iyonize radyasyonun etkilerini belirlemek için kurulan Atomik Radyasyonun Etkileri Üzerine Bilimsel Komisyon (UNSCEAR) (www.unscear.org) ve 1970 yılında insan sağlığı ve çevreyi korumak için kurulan Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) (www.epa.gov) olarak yazılabilir. Ülkemizde ise insan ve çevrenin radyasyondan korunması ile ilgili faaliyetler 1956 yılında kurulan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) (www.taek.gov.tr) tarafından gerçekleştirilmektedir (Çimen ve ark., 2017).

1.2.8.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaşmayan radyasyon, iyonizasyona neden olan enerjinin yetersiz olduğu elektromanyetik spektrumda radyasyona verilen terimdir. Elektrik ve manyetik alanlar, radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi, ultraviyole ve görünür ışık iyonlaştırıcı olmayan radyasyon içerir (URL-6, 2018).

Diğer bir ifadeyle iyonlaşmayan radyasyon (NIR), iki ana bölgeyi (optik radyasyon (ultraviyole (UV), görünür ve kızılötesi) ve elektromanyetik alanları (EMF'ler) (güç frekansları, mikrodalgalar ve radyo) kapsayan elektromanyetik spektrumun parçasını tanımlamak için kullanılan terimdir diyebiliriz. Tüm mobil iletişim cihazları, elektromanyetik spektrumda iyonize olmayan radyasyonu oluşturan radyofrekans (RF) elektromanyetik alanı (EMF) kullanır (Temaneh-Nyah ve Victor, 2015).

Atomik bağlar hücrelerdeki molekülleri bir arada tutmaya yaramaktadır. Bazı EM dalgalar bu atomik bağları kırabilmek için yeterli enerjiyi barındırabiliyorken bazıları da bu enerjiyi bulunduramamaktadır. İyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalgalar atomik bağları kırmak için yeterli enerjiden yoksun olan dalgalardır. Bu dalgaların örneğin 300 GHz' de olanının değeri 0,00125 eV olmaktadır. Bu değer iyonlaşma yapacak seviyeden oldukça düşüktür. Fakat bu tür dalgalarda mesafe, güç yoğunluğu ve maruziyet süresi gibi etkenler göz önüne alındığında vücut ısısı artışına sebep olabilmekle beraber bazı biyolojik etkilerin oluşmasında da rol oynayabilecekleri ifade edilebilmektedir (Genç, 2010).

İyonlaştırıcı radyasyonlara göre çok daha düşük enerji barındıran iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar madde içerisinde geçtiklerinde yüklü iyonlar oluşturmamaktadır. Bunun yerine atomlarda ve moleküllerde titreşimsel, dögüsel veya elektronik değerde değışimler yaratabilmektedir. Ancak İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda bu radyasyonların canlı organizmalar üzerindeki olası zararlı etkileri konusu henüz netleştirilememiştir. Bunun yanında iyonlaştırıcı olmayan radyasyonların canlıların sağlıkları üzerindeki etkileri bu radyasyonların çeşitlerine göre değışebilmektedir. İyonizasyon enerjisi sıcaklığına çıkartacak kadar ısı verebildiklerinde bu radyasyonlar termal-iyonizasyonu bile meydana getirebilmektedir. Kızartma tipi yemeklerde pişirme sırasında kızıl ötesi radyasyondan kaynaklı olarak besin maddesinde meydana gelen esmerleşme ve bir ateşteki alev iyonizasyonu termal iyonizasyona birer örnek olarak gösterilebilmektedir (URL-7, 2018).



Şekil 1.28. Cihazların elektromanyetik spektrumda gösterilmesi (URL-7, 2018).

1.2.9. Elektromanyetik Dalgaların Vücutta Soğurulması

Elektromanyetik dalganın iletken bir ortam içine girerek ilerlemesi "nüfuz etme" (penetration) olarak adlandırılmakta ve bunun ölçüsü genellikle " δ " ile gösterilen "nüfuz etme derinliği" (penetration depth) olarak tanımlanmaktadır. Nüfuz etme derinliği frekansa, ortamın iletkenliğine ve manyetik geçirgenliğine bağlıdır (İnce, 2007).

$$\delta = 1/\sqrt{f\pi\mu\sigma} \text{ [m]} \quad (1.28)$$

δ : Nüfuz Etme Derinliği [m]

σ : Ortamın iletkenliği [S/m]

μ : Manyetik Geçirgenlik [$4\pi \cdot 10^{-7}$]

f : Frekans [Hz]

İnsan vücudu elektromanyetik dalgaya karşı bir anten gibi davrandığından belirli bir dalga boyunda daha fazla enerji soğurmakta, örneğin kişinin boyu elektromanyetik dalganın yarı büyüklüğünde olduğunda, rezonans frekansına tekabül etmesi nedeniyle enerji soğurumu en yüksek düzeyde gerçekleşmektedir (İnce, 2007).

Elektromanyetik dalganın insanlara nasıl bir etki yaptığına gerektiği gibi belirlenebilmesi için doğrudan vücudun içinde alan şiddetinin ölçülmesi gerekmektedir. Fiziksel olarak bu mümkün olmadığından vücut iletkenliğini ihtiva eden maddelerden oluşan kimyasal malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmakta, modeller oluşturulmakta ve bilgisayar simülasyonlarıyla vücut içinde olması muhtemel elektrik alan değerleri kestirilmekte veya hesap edilmektedir. İnsan vücudu da tıpkı iletken bir madde gibi davrandığından ve vücudun farklı organlarının iletkenliği farklı olduğundan, elektromanyetik dalganın, soğurulması da organdan organa değişiklik göstermektedir (İnce, 2007).

1.2.10. Özgül Soğurma Oranı (SAR-Specific Absorption Rate)

SAR (Specific Absorption Rate-Özgül Soğurma Oranı), EM radyasyonun canlı dokular tarafından emilme oranıdır. Canlı dokular ile SAR arasındaki ilişki E alan (V/m), M alan (A/m) ve güç yoğunluğu (W/m^2) gibi parametreler ile doğrudan ifade edilemez. Bu yüzden canlı dokular ile EM radyasyon arasındaki ilişkinin nasıl kurulacağı akla gelir. 1971 yılında yapılan bir çalışmayla Schwan tarafından SAR değerini belirlemek için doku içerisinde EM radyasyondan dolayı oluşan akım yoğunluğu kullanılmıştır. Schwan tarafından bulunan SAR formülü eşitlik 1.29’da gösterilmiştir (Özer, 2014).

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{2} w/m^3 \quad (1.29)$$

Formüldeki σ doku iletkenliği, E elektrik alan şiddetidir. Bu formül NCRP ve ANSI tarafından SAR adıyla adlandırılmıştır. Ayrıca SAR birim kütledeki EM enerjinin zamana

göre türevi olarak ifade edilebilir. Bu ifade eşitlik 1.30'da gösterilmiştir (Özer, 2014).

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) \left(\frac{W}{kg} \right) \quad (1.30)$$

Formüldeki ρ (kg/m³) canlı dokuya ait kütle yoğunluğu, V (m³) dokunun hacmidir.

EM dalga ile doku arasındaki etkileşimi E alan, SAR veya dokuda indüklenmiş akım ile ifade edebiliriz. Çünkü E alan, SAR ve dokuda indüklenen akım eşitlik 1.31 ile ilişkilidir.

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \left(\frac{W}{kg} \right) \quad (1.31)$$

Formüldeki E , doku içerisindeki E alanın rms (etkin) değeri, ρ (kg/m³) canlı dokuya ait kütle yoğunluğu, σ (S/m) dokunun iletkenliğidir. Eğer E alanın maksimum değeri (peak) kullanılırsa formül 1/2 ile ($E^2_{peak}/2 = E^2_{rms}$) çarpılmalıdır (Özer, 2014).

SAR, dokuya gönderilen EM dalganın dokuda sebep olduğu sıcaklık artışı vasıtasıyla da hesaplanabilir. SAR ile doku üzerinde meydana gelen sıcaklık artışı arasındaki ilişki eşitlik 1.32'de gösterilmiştir (Özer, 2014).

$$SAR = \frac{C_H \Delta T}{\Delta t} \left(\frac{W}{kg} \right) \quad (1.32)$$

Formüldeki C_H (J/kg.°C) EM dalga uygulanan dokunun özgül ısı kapasitesi, ΔT (°C) EM radyasyona maruziyet sonucunda meydana gelen sıcaklık artışı, Δt (s) ise dokunun EM radyasyona maruz kalma süresidir (Özer, 2014).

Sıcaklık ölçümü ile SAR hesabını, ilk kez Mittleman ve arkadaşları 1941 yılında yapmışlardır. Kullandıkları birim W/litre olmuştur. Daha sonra 1958 yılında Cogan ve arkadaşları bu birimi W/kg olarak değiştirmişlerdir. Canlı dokularda kan akışı ile vücut fazla ısıyı yok etmeye çalıştığı için ölçüm biraz zorlaşmaktadır. Bu yüzden kan akışı olmayan bir dokunun kullanılması daha doğru sonuç verecektir (Özer, 2014).

Deri, kemik, kornea gibi farklı dokularda, doku parametreleri farklılık gösterdiği için EM radyasyon emme oranları (SAR değerleri) farklılık gösterirler. Bu dokulardaki kütle yoğunlukları ve doku iletkenlikleri farklıdır. Bu iki parametre EM radyasyonun frekansına bağlı olarak değişmektedir. İletkenlik dokudaki su oranına da bağlıdır. Bazı dokular (göz, kas, deri, karaciğer vb.) su oranı yüksek olan dokulardır. Bazı dokular (beyin, akciğer vb.) orta miktar su içerir. Bazı dokular ise (yağ ve kemik) düşük oranda su içerir. Frekans artışı dokunun iletkenliğini de arttırmaktadır. SAR değerini etkileyen başka bir parametre dokunun dielektrik özelliğidir. Dielektrik özelliği dokudaki su oranı ve dokuya uygulanan EM radyasyonun frekansı tarafından belirlenir. Frekans arttıkça dielektrik sabitinin değeri de düşer. Dielektrik sabiti dokudaki E alan dağılımını belirlemektedir. E alan ise SAR formülünde bulunmaktadır. Yani dielektrik özellik SAR değerini belirleyen parametrelerden birisidir. İnsan vücudunda 1 kg'lık dokuda 1 °C sıcaklık artışı meydana gelmesi için o dokunun 4 W güç emmesi gerekmektedir. Normal hayatta 4 W/kg'lık bu oranın 50'de 1'i sınır olarak kabul edilir. Kafa bölgesi, bölgesel SAR olarak kabul edilmiştir (Özer, 2014).

1.2.11. Elektromanyetik Dalga Polarizasyonu

Ortamda yayılan EM dalgada, elektrik alan vektörünün yönü, dalganın polarizasyonu olarak tanımlanır. Elektrik alan bileşenin yer düzlemine göre dik konumda ise “düşey polarizasyonlu”, paralel konumda olması durumundaysa “yatay polarizasyonlu” olarak adlandırılır. Alıcı antene çarpan dalganın polarizasyonu ile anten yönü birbirine paralel olduğunda; anten üzerinde maksimum indüklenme nedeniyle EM dalganın soğurulması maksimum düzeyde olur. Dalga polarizasyonu ve antenin yönü dik açılı olduğunda ise minimum indüklenme ve buna bağlı olarak da minimum soğurma gerçekleşir (Genç, 2010).

Uygulamada genellikle klasik telsiz sistemlerinin çoğunda olduğu gibi düşey veya TV vericileri gibi yatay polarizasyonlu sistemler bulunmasına rağmen yer yer dairesel, eliptik ve GSM vericileri gibi karışık polarizasyonlu sinyaller de kullanılmaktadır (Genç, 2010).

Genel olarak ölçüm amaçlı kullanılan antenlerin kalibreli olması, ölçülen belli bir sinyalin doğru değerini bulmak amacıyla çevredeki diğer sinyallerden etkilenmenin minimuma indirilebilmesi ve zayıf sinyallerde etkinliğin yüksek tutulabilmesi için, yönlülük ve kazanç özellikleri yüksek olan antenler kullanılır (Genç, 2010).

1.3. Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerleri

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkenin belirlediği standart ve sınır değerlerin yanında uluslararası kuruluşların belirlemiş oldukları standartlar ve sınır değerler de vardır. Uluslararası alanda ICNIRP tarafından belirlenen sınır değerler birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. ICNIRP Kılavuzu'nda yer alan çalışmalar üniversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi ve ilgili başka bilim insanlarından oluşan disiplinler arası bir ekip tarafından yürütülmüştür (Dilek, 2014).

ICNIRP, insanları ve çevreyi zararlı iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun (NIR) maruziyetinden korumak için NIR'in sağlık ve çevresel etkileri hakkında bilimsel tavsiye ve rehberlik sağlar. İyonlaşmayan radyasyon, ultraviyole, ışık, kızılötesi ve radyo dalgaları gibi elektromanyetik radyasyon ve infra- ve ultrason gibi mekanik dalgaları ifade eder. Günlük hayatta, NIR'in ortak kaynakları güneş, elektrikli ev aletleri, cep telefonları, Wi-Fi ve mikrodalga fırınları içerir (URL-8, 2018).

NIR elektromanyetik spektrumun içinde, x-ışınlarını içeren iyonlaştırıcı radyasyon bandının altında yer almaktadır. NIR iyonlaştırıcı radyasyondan daha az enerjiye sahiptir ve elektronları atomlardan çıkaramaz, yani NIR iyonize olmaz (UV bandının bir kısmı hariç). NIR, farklı frekans veya dalga boyu bantlarına alt gruplandırılmıştır. Farklı alt grupların vücut üzerinde farklı etkileri vardır ve farklı koruma önlemleri gerektirir (URL-8, 2018).

ICNIRP, farklı NIR alt gruplarındaki frekanslara maruz kalmanın sınırlandırılması konusunda öneriler sunar. Dünya Sağlık Örgütü gibi bölgesel, ulusal ve uluslararası radyasyon koruma kuruluşları tarafından kullanılan Kılavuz İlkeleri, Bildirimleri ve incelemeleri geliştirir ve yayınlar. ICNIRP, uluslararası bilimsel NIR diyaloguna ve NIR korumasının ilerlemesine ana katkıda bulunmaktadır (URL-8, 2018).

ICNIRP ticari, ulusal ve kazanılmış çıkarlardan bağımsızdır. ICNIRP üyeleri, kendi menşe ülkelerini veya kurumlarını temsil etmemektedir. İstihdam edemezler ya da bilimsel bağımsızlıklarından taviz veren başka çıkarları olamazlar. ICNIRP, endüstriden para almaz, finansmanı ulusal ve uluslararası kamu kurumları tarafından verilen sübvansiyonlardan kaynaklanır (URL-8, 2018).

Amerika Birleşik Devletleri'nde sınır değerler FCC (Federal Communications Commission – Federal Komünikasyon Komisyonu) tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) ve ANSI (American National Standards Institute – Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır. IEEE/ANSI standartları da sınır değerlerin belirlenmesinde yaygın olarak kabul gören ve temel alınan değerlerdir (Dilek, 2014).

Tablo 1.5. 10 Ghz'e kadar frekanslar için zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlar için temel sınırlamalar (ICNIRP, 1998).

Maruziyet karakteristikleri Frekans aralıkları		Akım yoğunluğu baş ve gövde (mA m^{-2}) (rms)	Tüm vücut ortalama SAR (W kg^{-1})	Lokal SAR baş ve gövde (W kg^{-1})	Lokal SAR kol ve bacaklar (W kg^{-1})
Mesleki maruziyet	up to 1 Hz	40	—	—	—
	1–4 Hz	$40/f$	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	10	—	—	—
	1–100 kHz	$f/100$	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	$f/100$	0.4	10	20
	10 MHz–10 GHz	—	0.4	10	20
Halk maruziyeti	up to 1 Hz	8	—	—	—
	1–4 Hz	$8/f$	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	2	—	—	—
	1–100 kHz	$f/500$	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	$f/500$	0.08	2	4
	10 MHz–10 GHz	—	0.08	2	4

Tablo 1.6. 10-300 Ghz arası güç yoğunluğu için temel sınırlamalar (ICNIRP, 1998).

Maruziyet karakteristikleri	Güç yoğunluğu (W m^{-2})
Mesleki maruziyet	50
Halk maruziyeti	10

Tablo 1.7. Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlara mesleki maruziyet referans seviyeleri (ICNIRP, 1998).

Frekans aralığı	E- Alan büyüklüğü (V m ⁻¹)	H- Alan büyüklüğü (A m ⁻¹)	B- Alan büyüklüğü (μT)	Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu S _{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	1.63 × 10 ⁵	2 × 10 ⁵	—
1–8 Hz	20,000	1.63 × 10 ⁵ /f ²	2 × 10 ⁵ /f ²	—
8–25 Hz	20,000	2 × 10 ⁴ /f	2.5 × 10 ⁴ /f	—
0.025–0.82 kHz	500/f	20/f	25/f	—
0.82–65 kHz	610	24.4	30.7	—
0.065–1 MHz	610	1.6/f	2.0/f	—
1–10 MHz	610/f	1.6/f	2.0/f	—
10–400 MHz	61	0.16	0.2	10
400–2,000 MHz	3f ^{1/2}	0.008f ^{1/2}	0.01f ^{1/2}	f/40
2–300 GHz	137	0.36	0.45	50

Tablo 1.8. Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlara halk maruziyeti referans seviyeleri (ICNIRP, 1998).

Frekans aralığı	E- Alan büyüklüğü (V m ⁻¹)	H- Alan büyüklüğü (A m ⁻¹)	B- Alan büyüklüğü (μT)	Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu S _{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	3.2 × 10 ⁴	4 × 10 ⁴	—
1–8 Hz	10,000	3.2 × 10 ⁴ /f ²	4 × 10 ⁴ /f ²	—
8–25 Hz	10,000	4,000/f	5,000/f	—
0.025–0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	—
0.8–3 kHz	250/f	5	6.25	—
3–150 kHz	87	5	6.25	—
0.15–1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	—
1–10 MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f	0.92/f	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2,000 MHz	1.375f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.0046f ^{1/2}	f/200
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10

Ülkemizde uluslararası standartlar temelinde elektromanyetik alan şiddeti limit değerleri BTK tarafından belirlenmektedir. BTK’nın internet sitesinde “ELEKTRONİK HABERLEŞME CİHAZLARI GÜVENLİK SERTİFİKASI YÖNETMELİĞİ” başlığı altında yayınlanan yönetmelikte sınır değerler belirtilmiştir. BTK konuya ilişkin ilan ettiği yönetmelikte zaman zaman güncelleme yapmaktadır. Yapılan güncellemelerle tablolar ve bu tablolara ilişkin değerlerde değişim olabilmektedir. Bu çalışmada yönetmeliğin en güncel hali incelenerek sınır değerlere ilişkin bilgiler Tablo 1.9’da verilmiştir.

Tablo 1.9. Ortam ve tek cihaz için belirlenen elektrik alan şiddeti limit değerleri (URL- 9, 2018).

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	$19,3/f^{1/2}$	$65,25/ f^{1/2}$
10-400	6,2	21
400-789	$0,305f^{1/2}$	$1,03f^{1/2}$
790-2000	$0,275f^{1/2}$	$0,96f^{1/2}$
2 000-94 000	12,3	42,93

Tablo 1.9.'daki elektromanyetik alan şiddeti limit değerlerinin belirlenmesinde, insan ve çevre sağlığı dikkate alınarak uluslararası kuruluşlardan Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineering-IEEE) ve ICNIRP'nin belirlediği limit değerlerin altında bir limit değer ihtiyatlılık ilkesi göz önünde bulundurulur.

Elektrik alan şiddeti;

- İhtiyatlılık ilkesi çerçevesinde, hücresel sistemlere ortam için izin verilen değer, ICNIRP'nin belirlediği limit değerlerin %70'i hesaplanarak oluşturulan Tablo-1'de yer alan değerleri aşamaz.
- 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 1.9'da yer alan değerler aşılamaz (URL- 9, 2018).

1.4. Elektromanyetik Alanların Sağlığa Etkileri

Epidemiyoloji; İnsan topluluklarındaki hastalıkların dağılımını ve bu dağılımı ortaya çıkaran faktörleri istatistiksel yolları kullanarak analiz eden tıp dalı ile ilgili araştırmalardır. Bu araştırmalarda bireylerden çok insan toplulukları ile ilgilenilmekte ve çalışmalar geçmişe dönük olarak yapılmaktadır. Bir diğer araştırma yöntemi ise daha çok laboratuvar hayvanlarının kullanıldığı deneysel çalışmaları kapsamaktadır. Bu tür araştırmalar büyük

ölçüde radyo frekanslarının toksikolojik standart testlerinde kullanılan hayvan dokuları için zararlı olduğunu ispatlamayı amaçlamaktadır (Demir, 2004).

EMD, dalganın türüne, enerji düzeyine, maruziyet süresine göre canlı organizmalar için faydalı, zararsız veya oldukça tehlikeli olabilir. EMD frekanslarına, dalga boylarına bağlı olarak, düşük frekanslı; radyo dalgaları, mikrodalgalar, Global System for Mobile Communications (GSM), kızılötesi ışınları, görünür ışık yada yüksek frekanslı; ultraviyole ışınları, x-ışınları, gama-ışınları ve kozmik ışınlar olarak sınıflandırılırlar. Düşük frekanslı dalgalar iyonlaştırıcı olmayan dalga olarak tanımlanır, söz konusu dalgalar atom ve molekülleri iyonlaştıracak enerjiye sahip değildir. Örnek olarak; GSM (900-1800MHz), radyo frekansı (RF, 50-1000MHz) verilebilir (Sadoğlu, 2017).

Radyo frekanslı elektromanyetik donanımları kullanım oranının giderek artması gerek bu konuda mesleki çalışanlar açısından ve gerekse halk sağlığı açısından RF radyasyonuna (RFR) maruziyetin olası zararlı etkilerinin incelenmesi çalışmalarını oldukça önemli kılmıştır. Örneğin genellikle yayınlarda aksama meydana gelmemesi için yayın kesintisi yapılmadan bakımı yapılan FM radyo-televizyon verici istasyonlarındaki bakım personelleri 40 kW güçlü bir verici için 800 V/m şiddetinde elektromanyetik alana maruz kalabilmektedir. RF ve alanlarının insan vücudunda oluşturabileceği en önemli etkiler vücudun dış yüzeylerinde olmaları nedeniyle göz ve üreme organları üzerinde olmaktadır. İletken özelliklere sahip olan sinirler ve kardivasküler sistemler de vücut yüzeyine çok yakın olduklarından bunlar üzerinde de etkide bulunmaktadır (İnce, 2007).

Sahadaki iyonlaştırıcı olmayan EMD etkisinde kalınması sonucunda canlılarda ısı etkiler ve ısı olmayan etkiler olmak üzere iki tür etki oluşabilmektedir.

Isıl etkiler, vücut tarafından absorbe edilen EMD'nın ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını arttırması olarak tanımlanır. Bu sıcaklık artışı, ısının kan dolaşımı yoluyla uzaklaştırılıp dengelenmesine kadar sürmektedir. Cep telefonlarından yayılan dalgaların frekanslarına yakın frekanstaki EMD'nın sebep olabileceği sıcaklık artışı gerçekte çok düşük olmakla beraber büyük olasılıkla vücudun normal mekanizmaları ile kolayca etkisizleştirilebilir. Beyinde cep telefonundan kaynaklı oluşabilecek sıcaklık artışı ortalama 0,1 °C civarındadır (Sadoğlu, 2017).

Elektromanyetik dalgaların ısı olmayan etkilerine bakıldığında kişilerde ortaya çıkabilen bozukluklar ve hastalıklar arasında beyin aktivitelerinde değişiklikler, uyku bozuklukları, dikkat bozuklukları, baş ağrıları bulunmaktadır. Ancak bu riskler çok yüksek

deneysel dozlar ve sürelerde geçerli olabilmekte ve cep telefonları gibi kullanımlar için geçerli olmadığı düşünülmektedir (Sadoğlu, 2017).

Biyolojik malzemede soğurulan RF enerjinin en çok emin olunan etkisi ısınmaya yol açabiliyor olmasıdır. En fazla ısı artışının ortaya çıktığı bölge vücudun dış yüzeyi olan deri üzeridir ve buralarda yerel yanmalar oluşabilmektedir. Vücudun alt tabakalarına doğru inildiğinde sıcaklık düşmektedir. Fakat uzun dalga ışımalara maruz kalınması durumunda kaslarda yüksek sıcaklık artışının meydana geldiği anlaşılmıştır. İç organlar ve kanda da sıcaklık artışı görülebilmektedir. 40-100 mW/cm² yoğunluklu alanların uygulanması durumunda ciddi zarar görebilen kan damarlarından kaynaklı olarak iç organlarda kanamalar ortaya çıkabilmektedir. Bazı organlar aşırı ısınma olmasa dahi zarar görebilmektedirler. Bu durum organizmanın bazı bölümlerinde özellikle boyut rezonansı olarak adlandırılan olay neticesinde açıkça ortaya çıkabilmektedir. Organların bazı bölgelerinde duran dalga oluşabilmekte ve bazı noktalarda çok yoğun enerji yutulması olabilmektedir. Bu durum elektromanyetik radyasyona maruz kalan organın bazı parçalarının boyutu dalga boyu ile mukayese edilebilir büyüklükte ise oluşabilmektedir. Bunun yanında vücudun çeşitli kısımlarında cerrahi müdahale ile yerleştirilmiş metaller RF enerjinin yoğunlaşmasına neden olabilmektedir (İnce, 2007).

Cep telefonlarının arama ya da aranma durumlarında antenin başa yakın tutulması sonucu moleküler ya da hücresel düzeyde tahribat oluşturabileceği düşünülmektedir. Öyle ki bazı araştırmacılar baş taraftan emilen mikrodalga enerjisinin beyinde sıcak nokta oluşturduğunu ifade ederler (Sadoğlu, 2017).

Cep telefonlarında ortalama 2W çıkış gücüne sahip 900 MHz de çalışan bir cep telefonundan 2,2 cm ötede 400V/m şiddetinde elektrik alan değeri ölçülmüştür. Bu değer 1800 MHz ve 1W çıkış gücü ile 200V/m dir. Yani, beynimizin dibinde ölçülen değer baz istasyonlarının neden olduğu etki yanında yüz kattan daha fazla olabilmektedir (Sadoğlu, 2017).

Günlük hayatta elektromanyetik dalgalara maruz kalınması durumunda baş ağrısı, uykusuzluk gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Çeşitli çalışmalarda, ICNIRP tarafından belirlenen sınır değerlerin altında mobil telefon sinyallerinin beynin elektriksel aktivitelerinde ve algılama fonksiyonlarında (dikkat, hatırlama, tepki verme gibi) kısa süreli değişimlere neden olduğu gösterilmiştir. Fakat bu değişimlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri bilinmemektedir (Sadoğlu, 2017).

11 Haziran 2004 tarihinde İstanbul'da düzenlenen ve Gazi Üniversitesi Biyofizik Ana Bilim Dalı Başkanlığı tarafından ev sahipliği yapılan uluslararası sempozyumda, genel olarak, çocukların yetişkinlere göre daha ince deri ve kafatasına sahip olmalarından dolayı, beyinlerde emilen radyasyon oranının yetişkinlere göre daha fazla olduğu, bunda çocukların cep telefonu kullanmaları halinde, sağlıkları üzerinde daha büyük bir risk oluşturduğu vurgulanmıştır (Demir, 2004).

1.4.1. Frekanslar

İyonlaşmayan radyasyon (NIR) atomları veya molekülleri iyonize etmek için yeterli foton enerjisi taşımayan ve düşük ve yüksek frekans aralığında (infra- ve ultrason) mekanik dalgalar içeren elektromanyetik radyasyonu tanımlamak için kullanılan jenerik bir terimdir.

İyonlaşmayan radyasyon, frekanslara (saniyedeki salınım sayısı) veya dalga boyu bantlarına (bir salınımın iki zirvesi arasındaki mesafe) alt gruplara ayrılır. Bu sınıflandırma her zaman kesinlikle kullanılmaz ve bilgi kaynağına bağlı olarak farklılık gösterebilir. ICNIRP, NIR'nin alt kategorilerini, bu grup frekanslarını veya dalga boyu bantlarını birlikte kullanır ve bu gruplamaları koruma açısından ayrı ayrı ele alır, çünkü her gruptaki NIR frekansları veya dalga boyları dokular üzerinde farklı etkilere sahiptir (URL-10, 2018).

1.4.1.1. Düşük Frekanslar (1 Hz - 100 kHz)

İnsanlar LF alanlarına maruz kaldıklarında, vücudun içinde elektrik alanları ve akımlar oluşur ve vücudun kendi elektrik alanlarına ve normal biyolojik işleve bağlı akımlara müdahale edebilirler. Ayrıca, LF elektrik alanı, vücudun yüzey yüküyle etkileşime girer. Düşük seviyelerde, bu etkileşimler çoğunlukla fark edilmez ve sağlığa zarar vermez. Bununla birlikte, eşik olarak adlandırılan belirli bir maruz kalma seviyesinin üzerinde, indüklenmiş iç alanlar, görsel alanın periyodunda (fosfenler) sönük bir ışık gibi vücutta uyarılabilir hücreler üzerinde ters çevrilebilir etkilere neden olur; cilde elektrik yükü etkisi (saçınızı tarakladığınız zaman, saçınızın yükselmesine neden olur); veya bir karıncalanma hissi olarak deneyimlenen sinir ve kasların uyarılması. Bu etkiler, alanın frekansına bağlı olarak farklı eşiklerde meydana gelir. Daha yüksek seviyelerde, LF geri dönüşümsüz kardiyovasküler etkiler veya doku yanıklarına neden olur (URL- 11, 2018).

Uzun vadeli düşük seviyeli maruziyet ile ilişkili potansiyel sağlık etkileri son birkaç on yılda kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Elektrik iletim ve dağıtım hatlarının insan sağlığı üzerindeki etkileri uzun zamandan beri birçok epidemiyolojik araştırmalara konu olmuştur. Örneğin 1979 yılında ABD’de yapılan bir epidemiyolojik çalışma, enerji iletim hatlarına 40 metreden daha yakın yaşayan çocukların, normal çocuklara göre 2-3 kat daha fazla kansere yakalandığını ortaya koymuştur. 1988 ve 1991’de yine ABD’de, 1992’de İsveç ve Meksika’da ve 1993’de Danimarka’da yapılan araştırmalarda, çocuklarda görülen kanserle ve özellikle lösemiyle iletim hatlarına yakın yaşama arasında bir ilintiyi ortaya koymuş, Finlandiya’da yapılan bir başka araştırma erkek çocukların merkezi sinir sisteminde oluşan tümörlerle iletim hatları arasındaki ilişkiyi saptamıştır (Demir, 2004).

Epidemiyolojik çalışmalar, 50-60 Hz manyetik alanlara uzun süreli düşük düzeyde maruz kalmanın çocukluk çağı lösemi riskinin artması ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, seçim yanlılığı, bir ölçüde karışıklık ve şansın bir kombinasyonu bu sonuçları açıklayabilir. Ek olarak, hiçbir biyofiziksel mekanizma belirlenmemiş ve hayvan ve hücre laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar, 50-60 Hz manyetik alanlara maruziyetin çocukluk çağı lösemisinin bir nedeni olduğu fikrini desteklememektedir. Bu nedenle, halihazırda var olan bilimsel kanıtlar, LF’ye uzun süre maruz kalmanın çocukluk çağı lösemisinin bir nedeni olduğu sonucuna yol açmamaktadır. Erişkinlerde LF maruziyetinden kanser için kanıt çok zayıftır. LF maruziyeti ile Parkinson hastalığı, multipl skleroz arasındaki ilişki için önemli bir bilimsel kanıt yoktur. Alzheimer hastalığı ve amiyotrofik lateral skleroz için kanıtlar sonuçsuz kalmaktadır. Semptom çalışmaları, uyku kalitesi ve bilişsel işlevin bu tip maruziyetten etkilendiğine dair tutarlı bir kanıt sağlamamıştır (URL- 11, 2018).

US National Institute of Environmental Health Sciences – NIEHSE – tarafından iyonlaştırmayan radyasyon ile ilgili 5 yıl süren bir araştırma 1998 yılında tamamlanmıştır. Bu projede İyonlaştırmayan radyasyonun ELF (Extremely Low Frequency, 0-300 Hz) bölgesi, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından beş derece ile sınıflandırılmıştır. Bunlar; birinci derece tasnif dışı, ikinci derece kanser yapma ihtimali az olası, üçüncü derece kanser yapma ihtimali olası, dördüncü derece kanser yapma ihtimali biraz daha fazla ve beşinci derece kanser yapar, şeklindedir (Demir, 2004).

İletim hatları ile kansere yakalanma riski arasındaki bir ilişkiyi gösteren çalışmalar kadar, herhangi bir ilişki bulunmadığını ispatlamaya çalışan bilimsel çalışmalar da

yapılmıştır. 1993'te 36000 çalışanı olan California'daki büyük bir elektrik şirketine yönelik yapılan bir araştırmada elektromanyetik alanlar ile kanser arasında bir ilişki olduğu ortaya konulamamıştır. Lösemili çalışan sayısı, normalin üzerine çıkmasına rağmen, bu gözlem doğrudan bir ilişkinin varlığına yönelik kanıt niteliğinde bir tespit olduğunu vurgulamak için yeterli görülmemiştir. 1994'de Kanada'daki iki ve Fransa'daki bir elektrik şirketinin çalışanlarını kapsayan benzer bir araştırmada ise toplam 223000 kişi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu istatistiksel çalışmada 4000 kanser hastası tespit edilmiş, yüksek EM alanların etkisinde kalanlarda lösemi 2-3 kat fazla görülürken, beyin tümörünün 10 kat fazla görüldüğü tespit edilmiştir. Ancak tüm bu bulgulara karşın lösemiyle EM alanlar arasında kuşkuyla yer bırakmayacak biçimde bir ilişki olduğu kanıtlanamamıştır (Demir, 2014).

Genel olarak yapılan araştırmalar, uzun süreli düşük düzeyli LF maruziyetinin sağlık üzerinde zararlı etkileri olduğunu göstermemiştir (URL- 11, 2018).

1.4.1.2. Yüksek Frekanslar (100 kHz - 300 GHz)

İnsan sağlığı ve güvenliği ile ilgili HF maruziyetinin kritik etkisi, maruz kalan dokunun ısınmasıdır. HF alanları vücuda girebilir (daha yüksek frekans, daha düşük penetrasyon derinliği) ve içindeki yüklü veya polar moleküllerin titreşmesine neden olabilir. Bu sürtünme ve dolayısıyla ısı ile sonuçlanır (URL- 12, 2018).

Vücut, spor aktivitesini gerçekleştirirken aşırı vücut ısısının dağılmasına benzer şekilde ısıda küçük bir artış sağlayabilir. Bunun nedeni, insan vücudunun iç sıcaklığını düzenlemede güçlü bir yeteneğe sahip olmasıdır. Bununla birlikte, maruz kalma süresine bağlı olarak belirli bir seviyenin (eşik olarak adlandırılan) üzerinde, HF maruziyeti ve beraberindeki sıcaklık artışı, ısı çarpması ve doku hasarı (yanıklar) gibi ciddi sağlık etkilerini tetikleyebilir (URL- 12, 2018).

Termal eşiğin altında HF maruziyetinin akut ve uzun vadeli etkileri, olumsuz sağlık etkilerine dair kesin bir kanıt gösterilmeden kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

HF alanları ile baş ağrıları, konsantrasyon güçlüğü, uyku kalitesi, kognitif fonksiyon, kardiyovasküler etkiler vb. sağlık sonuçları arasındaki ilişki üzerine önemli miktarda araştırma yapılmıştır. Bu araştırma, bu tür sağlık etkileri göstermemiştir. Sürekli gözlemlenen tek bulgu, elektroensefalografi (EEG) ile ölçülen beyin aktivitesi üzerinde küçük bir etkidir. Bununla birlikte, bu küçük değişikliklerin biyolojik anlamı açık

değildir. Örneğin, bunların uyku kalitesini etkilemediği ya da diğer olumsuz etkilerle ilişkili olmadığı gösterilmiştir (URL- 12, 2018).

Özellikle mobil telefonlarda kullanılan HF alanlarına maruz kalma konusunda kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Tüm bu araştırmalar arasında, telefonun tutulduğu kulağa yakın olan tümörlerin riski, örneğin beyin tümörleri, birçok epidemiyolojik çalışmanın odak noktası olmuştur. Bu epidemiyolojik çalışmalardan birkaçı, küçük ve uzun süreli ve ağır cep telefonu kullanıcıları için bazı beyin tümörlerinin riskinde hafif bir istatistiksel artış olduğunu bildirmiştir. Raporlama önyargıları ve çalışmaların zayıflıkları gözlemlenen bulguları açıklayabilir. Bazı çalışmalar, cep telefonu kullanımı ile beyin tümörlerinde bir artış olduğunu bildirilmemiştir. Ayrıca, hayvanlar ve hücreler üzerindeki deneysel çalışmalar epidemiyolojik çalışmaların bulgularını doğrulayamamıştır ve bu kadar düşük maruziyet seviyelerinde kanserojenliği açıklayabilecek biyofiziksel bir mekanizma yoktur. Ek olarak, epidemiyolojik çalışmaların bazılarında gözlemlenen artmış risk, popülasyondaki bu kanserlerin stabil oluşum sıklığı ile tutarsızdır. Son birkaç on yıldır cep telefonlarının genel popülasyonda kullanımındaki yaygın ve önemli artış dikkate alındığında bu önemli bir husustur (URL- 12, 2018). HF alanları ile ilgili yapılan tüm araştırmaların genel değerlendirmesi, termal eşiğin altındaki HF maruziyetinin, olumsuz sağlık etkileri ile ilişkili olma olasılığının düşük olduğu sonucuna varmaktadır.

2. MATERYAL ve METOT

2.1 Kullanılan Ekipmanlar

Tez çalışması kapsamında ana ekipman olarak Extech 480846 cihazı kullanılmıştır. Yardımcı ekipman olarak Garmin eTrex 20x cihazı ve tripod kullanılmıştır.

2.1.1. Geniş Bantlı Elektromanyetik Alan Ölçer

Elektromanyetik alan ölçümlerinde Şekil 2.1.'de verilen Extech 480846 cihazı kullanılmıştır.

Şekil 2.1'de görülmekte olan cihaz, 10 MHz – 8 GHz (900MHz, 1800MHz, 2.7GHz, 3.5GHz ve 8GHz için optimize edilmiştir) ölçüm aralığında çalışan geniş bantlı bir ölçüm cihazıdır. Özellikle GSM frekanslarına optimize edildiğinden, cep telefonları ve baz istasyonlarından yayılan EM dalgaların ölçümünde kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Extech 480846 8 GHz RF elektromanyetik alan ölçüm cihazı

Cihaz, ölçümü yapılan sahanın elektrik alan değerini ölçmektedir. Cihazın üst tarafında 3-kanallı elektrik alan sensörü bulunmaktadır. Elektrik alan sensörü izotropik olduğu için özel bir müdahaleye ihtiyaç duymaksızın sahadaki elektromanyetik alan şiddetini 3 eksene (X,Y,Z) göre ölçebilmektedir.

2.1.2. GPS

Şekil 2.2.'deki GPS alıcısı verileri evrensel olarak kabul edilen GPX dosya formatında depolayabilmektedir. Bu özelliği sayesinde çeşitli PC uygulamalarıyla uyumludur. Garmin'in planlama yazılımı BaseCamp™ ile kullanılabilir. Dünya çapında bir temel harita, gelişmiş arayüze sahiptir. Toz, kir, nem veya su gibi unsurlara karşı dayanıklıdır. GPS konum bilgisini yüksek doğrulukta hızlı ve hassas bir şekilde verebilmektedir. GPS ve Rusya Federasyonu GLONASS uydularını eşzamanlı olarak izleyebilmektedir. Bunları bir arada kullanırken, alıcı sadece GPS kullanarak 24 uydudan daha fazla uyduya kilitlenebilmektedir.



Şekil 2.2. Garmin eTrex 20x GPS

2.1.3. Tripod

Şekil 2.3.'te görülen 1.5 metre yüksekliğindeki tripod ölçüm çalışması sırasında kullanılan bir diğer yardımcı ekipmandır.



Şekil 2.3. Tripod

2.2 Kullanılan Yöntemler

Elektromanyetik alan haritasının çıkarılması için öncelikle yerleşke içerisinde öğrencilerin yoğun olarak bulunduğu bölgeler ile rektörlük, sosyal tesisler, mühendislik fakültesi, yemekhane, kütüphane gibi akademik ve idari birimleri barındıran binaların bulunduğu bölgelerde olmak üzere toplamda 14 nokta (Şekil 2.4.) GPS yardımıyla belirlenmiştir. Belirlenen noktalarda hafta içi mesai saatlerinde elektromanyetik alan ölçümü yapılmıştır.

Kullandığımız ekipmanlar ve saha koşullarının elverdiği ölçüde Bilgi Teknoloji ve İletişim Kurumunun internet sitesinde yer alan “Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik

Sertifika Yönetmeliği” ilgili yönetmeliğin 4’üncü bölümünde yer alan ölçüm yönteminin verildiği 15’ inci maddede belirtilen hususlara uyulmuştur.

Tablo 2.1. Ölçüm yapılan noktalara ait koordinat bilgileri

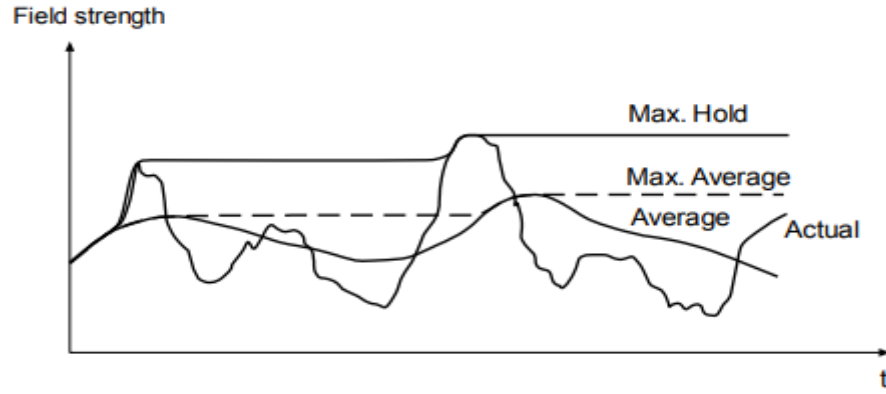
No	X (Longitude)	Y (Latitude)
1	39.507644037	39.045617022
2	39.509197036	39.045292977
3	39.510567980	39.044143986
4	39.511614963	39.043132961
5	39.512470001	39.044124037
6	39.514377974	39.045193987
7	39.515454965	39.045788012
8	39.516354008	39.045859007
9	39.517769963	39.045817014
10	39.518844020	39.045691034
11	39.515919993	39.045000030
12	39.514082009	39.044076009
13	39.511000989	39.042932969
14	39.512411999	39.042519992



Şekil 2.4. Üniversite yerleşkesinde ölçüm yapılan noktalar

Cihaz ölçüm sırasında değerleri anlık maksimum (maximum instantaneous), ortalama (average) ve ortalama maksimum (maximum average) şeklinde verebilmektedir.

Ortalama modda yapılan ölçümlerde Extech firmasının kullanım kılavuzunda belirttiği gibi dalgalanmalar olabilmektedir. Bu yüzden ölçümler anlık maksimum ve maksimum ortalama modları kullanılarak yapılmıştır. Bu konuya ilişkin grafik Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.5. Ölçüm sonuçlarına ilişkin grafik (Extech Instruments, 2014).

Ölçüm sırasında cihaz tripod yardımıyla 1.5 metre yüksekliğe sabitlenmiştir. Cihazı çevreleyecek veya önünü kapatacak herhangi bir fiziki engelle izin verilmemiştir. Ayrıca ölçüm yapılırken telefon kapalı tutulmuştur. Ölçümleri yaparken kullandığımız düzeneği Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Ölçüm düzeneği

Ölçüm sonuçları MapInfo programı kullanılarak tematik olarak haritalandırılmıştır. Tematik harita üzerine yerleştirilen dairelerin birer koordinat bilgileri bulunmakta ve elektrik alan değerini gösteren sayılar ise bu dairelerin üzerinde yer almaktadır. Haritada kullanılan lejanta ait bilgiler Şekil 2.7’ de verilmiştir.

Elektrik Alan Değerleri milivolt/metre (mV/m)	
600 - 800	
400 - 600	
200 - 400	
0 - 200	

Şekil 2.7. Elektromanyetik alan haritasında kullanılan lejant

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Elektromanyetik alan ölçümleri 01.10.2018 - 07.10.2018 tarihleri arasında hafta içi 9.00-16.00 saatleri arasında toplamda 7 gün (1 hafta) boyunca yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde en yüksek değerler genellikle 1, 2, 3, 4, 13 ve 14. noktalarda çıkmaktadır. Bu noktalarda yapılan ölçümlerde, cihazın üniversite yerleşkesi karşısındaki baz istasyonunun görüş alanı içerisinde olmasından kaynaklı olarak değerlerin yüksek çıktığı düşünülmektedir. Özellikle 1. noktada yapılan ölçümlerde alınan değerler sürekli en yüksek olma yönünde kararlılık göstermektedir. Bu durumun, ölçüm yaptığımız noktalar içerisinde baz istasyonuna en yakın olan noktanın 1. nokta olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 3.1’de üniversite yerleşkesinin karşısında olan baz istasyonunun bulunduğu bölge siyah daire içine alınarak işaretlenmiştir.



Şekil 3.1. Baz istasyonunun olduğu bölge

3.1. Elektromanyetik Alan Ölçüm Sonuçları

Yerleşke içerisinde her ölçüm sırasında ilk olarak en az bir iki dakika anlık modda cihaz ekranı izlenerek bölgenin elektrik alan değerleri değişimi üzerine fikir edinilmiştir. Bunun yanında ölçüm noktalarında radyasyon seviyelerinin maksimum ne kadar olabileceğinin belirlenebilmesi için anlık maksimum mod kullanılarak ölçüm yapılmış ve

değerler cihazın hafızasına alınmıştır. Yine aynı noktalarda maksimum ortalama (maximum average) modu kullanılarak yapılan ölçümlerde aldığımız değerlerin anlık maksimum değerlerinden daha düşük değerler olduğu görülmektedir. Farklı iki modun kullanılmasıyla yapılan ölçümlerde elde edilen değerler arasındaki fark oransal olarak genellikle 5,6,7,8,9,11 ve 12. noktalarda daha fazla olabilmektedir. Bu durum anlık maksimum değerlerini, kısa süreli ani artışların oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Çünkü maksimum ortalama değerleri bu noktalarda anlık modda ekranda izlenen değerlere daha yakın olmaktadır.

1, 2, 3, 4, 13 ve 14. noktalarda ölçümlerden alınan değerler diğer noktalara göre genellikle daha yüksek çıkmaktadır. Aynı zamanda bu noktalarda anlık maksimum ve maksimum ortalama değerleri arasında fark oransal olarak genellikle diğer noktalara göre daha az olmaktadır.

Üniversite yerleşkesinde öğle saatlerinde insan yoğunluğunun en çok olduğu bölge 5. noktanın olduğu bölgedir. 5. nokta yaklaşık olarak mühendislik fakültesi ve yemekhanenin ortasında yer almaktadır. Aynı zamanda ve iktisadi ve idari bilimler fakültesini barındıran binanın olduğu bölgeye de oldukça yakındır. Burada yaptığımız ölçümlerde harita lejantı göz önüne alındığında maksimum ortalama ve anlık maksimum değerlerde diğer noktalarda da olduğu gibi yeşil renkten diğer renklere geçişler olabilmektedir. Bu durumun ortamdaki insan yoğunluğunun özellikle öğle saatlerine doğru artmasından ve bu artışa paralel olarak telefon kullanımında artış yaşanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

2, 3, 4, 13 ve 14. noktalarda yapılan ölçümlerde harita lejantında en düşük aralıktaki değerleri temsil eden renk olan yeşile ve yine en yüksek aralıktaki değerleri temsil eden renk olan kırmızıya geçişler hiç olmamıştır. Bu noktalarda yapılan ölçümlerde alınan değerler mavi ve sarı renklerin temsil ettiği aralıkta bulunan değerler olmaktadır.

Kampüs içerisinde genellikle en düşük elektrik alan değerlerini barındırma noktasında kararlı bir yaklaşım sergileyen noktalar 9. ve 10. noktalardır. Bu noktalar sırasıyla rektörlük ve sosyal tesislerin olduğu bölgelerde yer almakla beraber teknoloji transfer ofisine de oldukça yakın konumdadır.

Ölçümlerde elde ettiğimiz değerler Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) ve ulusal kuruluş olan Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından belirlenen limit değerlerin oldukça altındadır. Rektörlük, sosyal

tesisler ve bu bölgelerin yakınlarındaki elektromanyetik alan kirliliği neredeyse hiç yok denebilecek seviyelerdedir.

Ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin kullanılmasıyla oluşturulan elektromanyetik alan haritaları, tablolar, pasta ve bar grafikleri aşağıda verilmiştir. Elektromanyetik alan haritalarının olduğu sayfalarda, bu haritaların içerdiği renklerin, sayısını ve yüzdelik dilimlerini gösteren pasta grafikleri verilmektedir. Pasta grafiği dilimlerinin üzerinde yer alan sayılardan; noktalı virgülden önceki sayı, ilgili harita üzerinde o renkten kaç tane olduğunu gösterirken, sonraki sayı ise toplam nokta sayısına göre o rengin yüzdelik dilimini göstermektedir.

Tablo 3.1. 01.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler

No	X (Longitude)	Y (Latitude)	Anlık Maksimum (milivolt/metre)	Maksimum Ortalama (milivolt/metre)	Ölçüm Saati
1	39.507644037	39.045617022	732	587	9.30
2	39.509197036	39.045292977	345	284	10.00
3	39.510567980	39.044143986	410	362	10.30
4	39.511614963	39.043132961	334	289	11.00
5	39.512470001	39.044124037	268	87	11.30
6	39.514377974	39.045193987	221	90	12.00
7	39.515454965	39.045788012	120	15	12.30
8	39.516354008	39.045859007	110	9	13.00
9	39.517769963	39.045817014	9	7	13.30
10	39.518844020	39.045691034	8	7	14.00
11	39.515919993	39.045000030	90	10	14.30
12	39.514082009	39.044076009	180	15	15.00
13	39.511000989	39.042932969	482	417	15.30
14	39.512411999	39.042519992	467	407	16.00

Tablo 3.2. 02.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler

No	X (Longitude)	Y (Latitude)	Anlık Maksimum (milivolt/metre)	Maksimum Ortalama (milivolt/metre)	Ölçüm Saati
1	39.507644037	39.045617022	743	612	9.30
2	39.509197036	39.045292977	398	300	10.00
3	39.510567980	39.044143986	505	437	10.30
4	39.511614963	39.043132961	349	342	11.00
5	39.512470001	39.044124037	480	118	11.30
6	39.514377974	39.045193987	180	40	12.00
7	39.515454965	39.045788012	230	70	12.30
8	39.516354008	39.045859007	240	80	13.00
9	39.517769963	39.045817014	205	40	13.30
10	39.518844020	39.045691034	9	8	14.00
11	39.515919993	39.045000030	40	15	14.30
12	39.514082009	39.044076009	160	25	15.00
13	39.511000989	39.042932969	372	360	15.30
14	39.512411999	39.042519992	437	323	16.00

Tablo 3.3. 03.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler

No	X (Longitude)	Y (Latitude)	Anlık Maksimum (milivolt/metre)	Maksimum Ortalama (milivolt/metre)	Ölçüm Saati
1	39.507644037	39.045617022	724	555	9.30
2	39.509197036	39.045292977	330	242	10.00
3	39.510567980	39.044143986	445	410	10.30
4	39.511614963	39.043132961	397	305	11.00
5	39.512470001	39.044124037	330	80	11.30
6	39.514377974	39.045193987	188	55	12.00
7	39.515454965	39.045788012	150	70	12.30
8	39.516354008	39.045859007	220	40	13.00
9	39.517769963	39.045817014	7	6	13.30
10	39.518844020	39.045691034	7	6	14.00
11	39.515919993	39.045000030	50	10	14.30
12	39.514082009	39.044076009	110	35	15.00
13	39.511000989	39.042932969	439	329	15.30
14	39.512411999	39.042519992	410	320	16.00

Tablo 3.4. 04.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler

No	X (Longitude)	Y (Latitude)	Anlık Maksimum (milivolt/metre)	Maksimum Ortalama (milivolt/metre)	Ölçüm Saati
1	39.507644037	39.045617022	713	447	9.30
2	39.509197036	39.045292977	352	216	10.00
3	39.510567980	39.044143986	528	432	10.30
4	39.511614963	39.043132961	418	345	11.00
5	39.512470001	39.044124037	263	70	11.30
6	39.514377974	39.045193987	276	80	12.00
7	39.515454965	39.045788012	40	15	12.30
8	39.516354008	39.045859007	30	11	13.00
9	39.517769963	39.045817014	7	5	13.30
10	39.518844020	39.045691034	8	7	14.00
11	39.515919993	39.045000030	60	13	14.30
12	39.514082009	39.044076009	130	30	15.00
13	39.511000989	39.042932969	497	331	15.30
14	39.512411999	39.042519992	422	345	16.00

Tablo 3.5. 05.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler

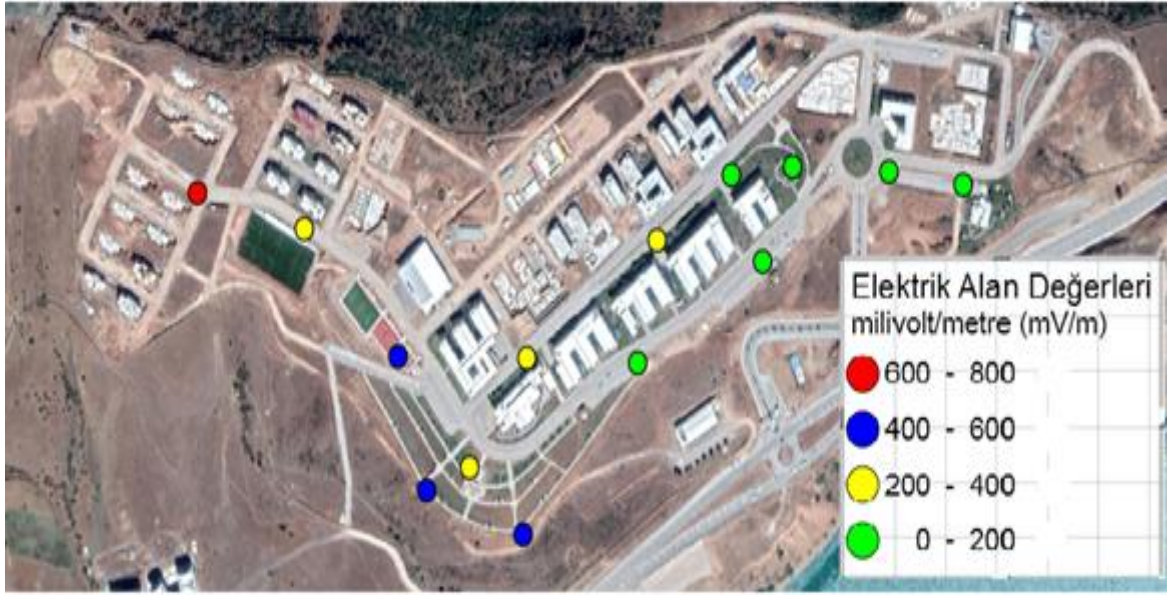
No	X (Longitude)	Y (Latitude)	Anlık Maksimum (milivolt/metre)	Maksimum Ortalama (milivolt/metre)	Ölçüm Saati
1	39.507644037	39.045617022	620	530	9.30
2	39.509197036	39.045292977	350	290	10.00
3	39.510567980	39.044143986	440	370	10.30
4	39.511614963	39.043132961	410	320	11.00
5	39.512470001	39.044124037	650	480	11.30
6	39.514377974	39.045193987	196	80	12.00
7	39.515454965	39.045788012	340	60	12.30
8	39.516354008	39.045859007	70	12	13.00
9	39.517769963	39.045817014	7	6	13.30
10	39.518844020	39.045691034	7	6	14.00
11	39.515919993	39.045000030	55	15	14.30
12	39.514082009	39.044076009	130	40	15.00
13	39.511000989	39.042932969	510	450	15.30
14	39.512411999	39.042519992	430	330	16.00

Tablo 3.6. 06.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler

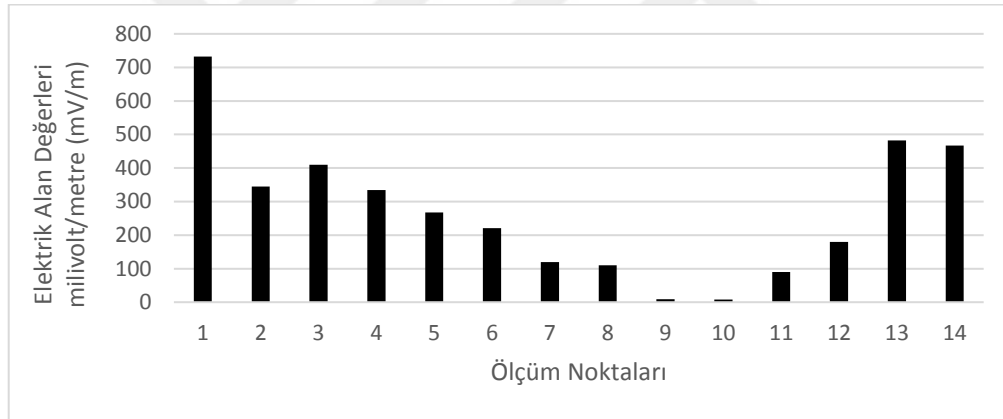
No	X (Longitude)	Y (Latitude)	Anlık Maksimum (milivolt/metre)	Maksimum Ortalama (milivolt/metre)	Ölçüm Saati
1	39.507644037	39.045617022	780	560	9.30
2	39.509197036	39.045292977	410	320	10.00
3	39.510567980	39.044143986	405	330	10.30
4	39.511614963	39.043132961	330	280	11.00
5	39.512470001	39.044124037	9	5	11.30
6	39.514377974	39.045193987	8	4	12.00
7	39.515454965	39.045788012	8	5	12.30
8	39.516354008	39.045859007	9	3	13.00
9	39.517769963	39.045817014	5	4	13.30
10	39.518844020	39.045691034	5	4	14.00
11	39.515919993	39.045000030	12	9	14.30
12	39.514082009	39.044076009	15	10	15.00
13	39.511000989	39.042932969	440	320	15.30
14	39.512411999	39.042519992	420	280	16.00

Tablo 3.7. 07.10.2018 tarihinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler

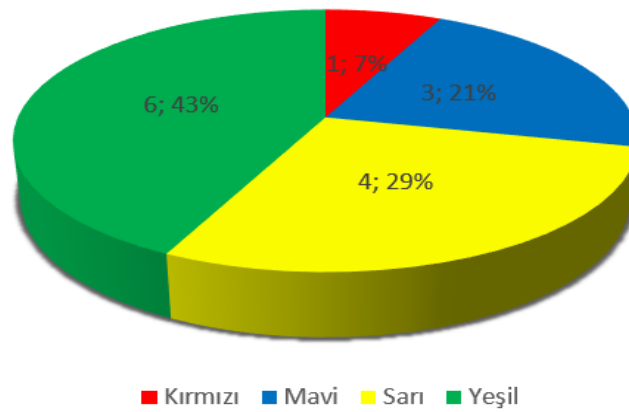
No	X (Longitude)	Y (Latitude)	Anlık Maksimum (milivolt/metre)	Maksimum Ortalama (milivolt/metre)	Ölçüm Saati
1	39.507644037	39.045617022	730	520	9.30
2	39.509197036	39.045292977	430	290	10.00
3	39.510567980	39.044143986	380	310	10.30
4	39.511614963	39.043132961	310	270	11.00
5	39.512470001	39.044124037	12	4	11.30
6	39.514377974	39.045193987	20	6	12.00
7	39.515454965	39.045788012	10	5	12.30
8	39.516354008	39.045859007	8	4	13.00
9	39.517769963	39.045817014	5	4	13.30
10	39.518844020	39.045691034	5	4	14.00
11	39.515919993	39.045000030	10	5	14.30
12	39.514082009	39.044076009	18	12	15.00
13	39.511000989	39.042932969	420	300	15.30
14	39.512411999	39.042519992	440	310	16.00



Şekil 3.2. 01.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



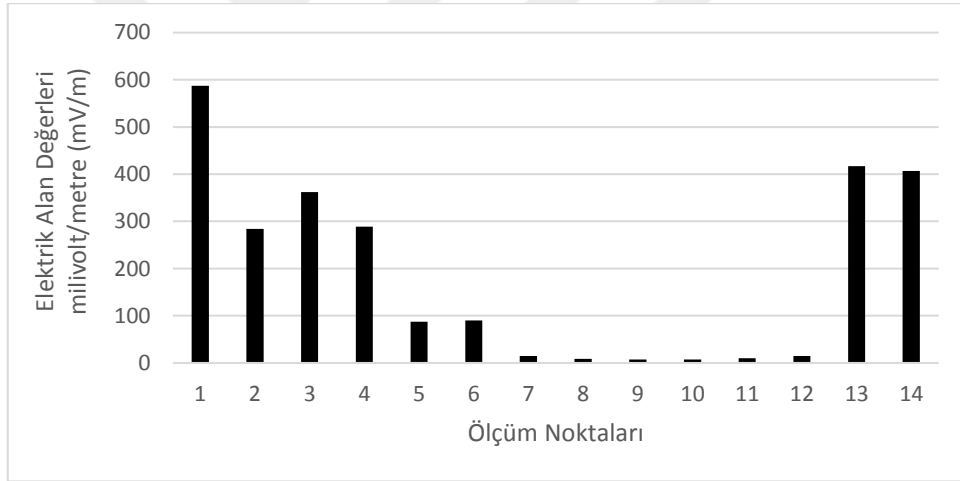
Şekil 3.3. 01.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan bar grafiği



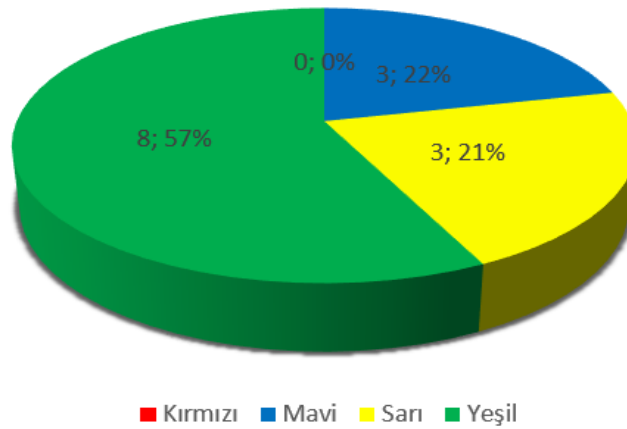
Şekil 3.4. 01.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.5. 01.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



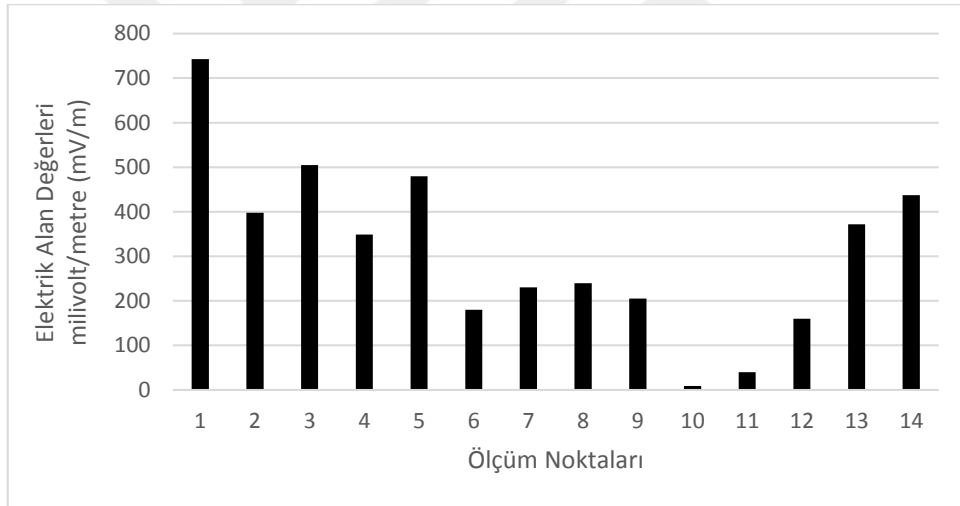
Şekil 3.6. 01.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan bar grafiği



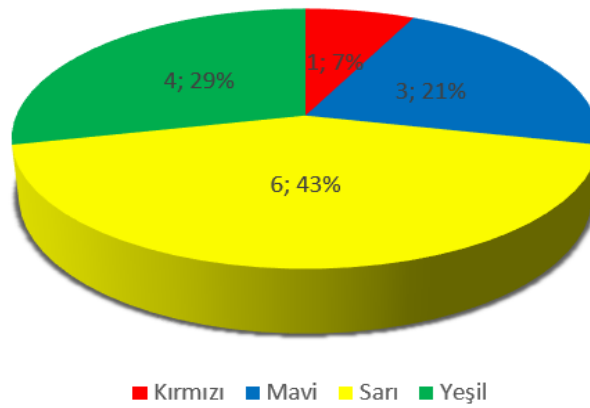
Şekil 3.7. 01.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.8. 02.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



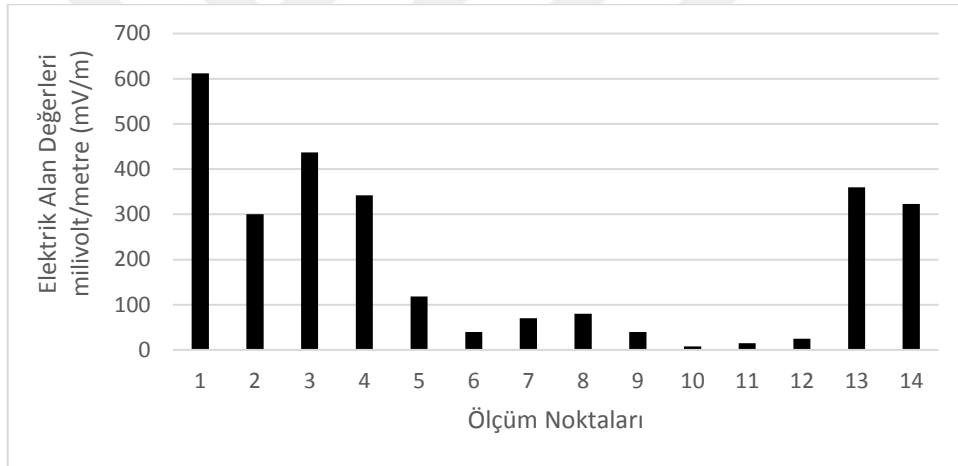
Şekil 3.9. 02.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan bar grafiği



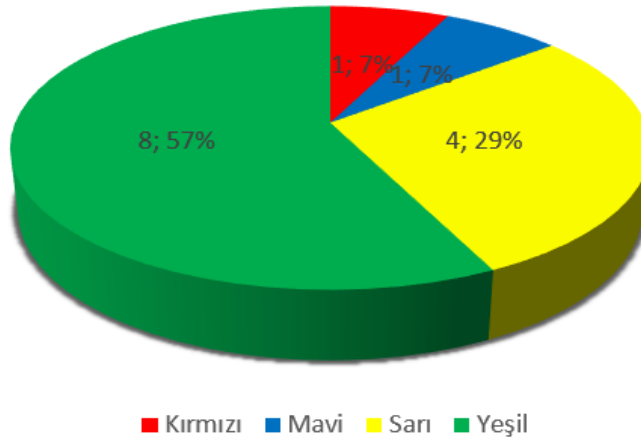
Şekil 3.10. 02.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.11. 02.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



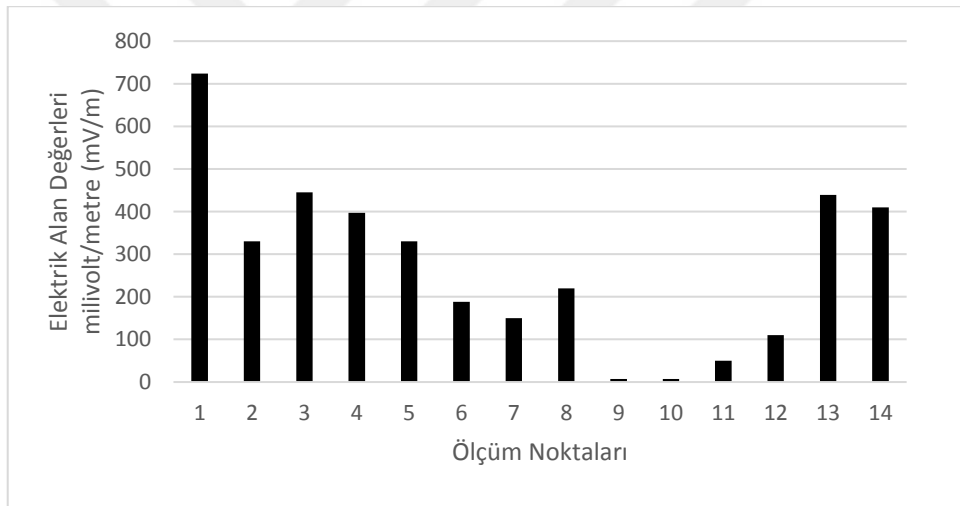
Şekil 3.12. 02.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan bar grafiği



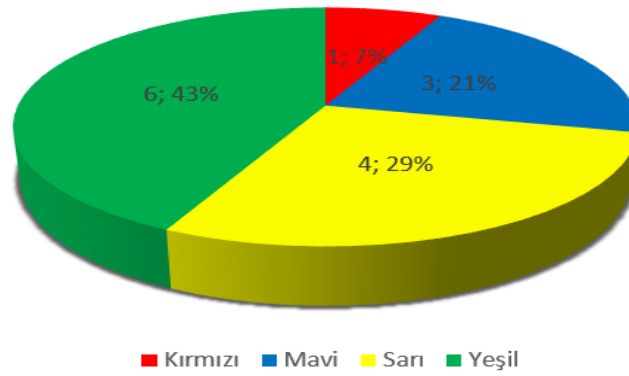
Şekil 3.13. 02.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.14. 03.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



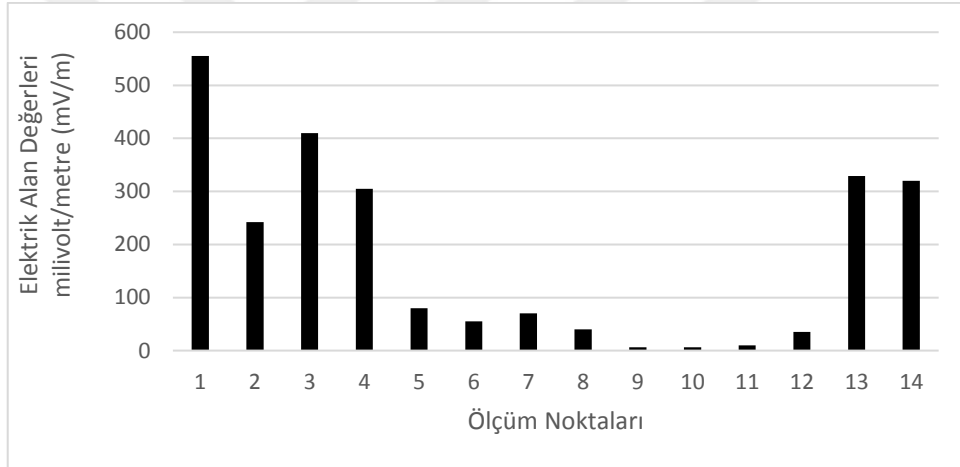
Şekil 3.15. 03.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan bar grafiği



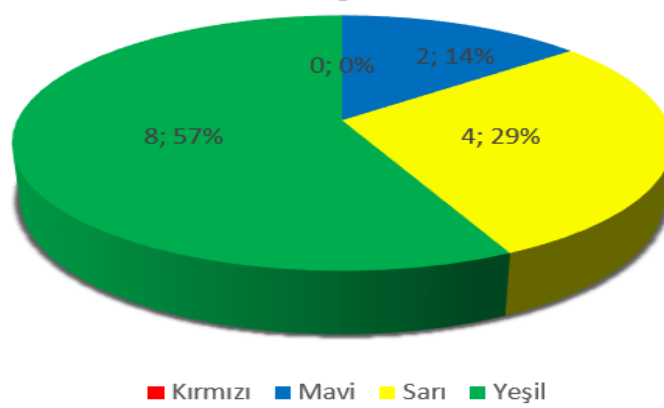
Şekil 3.16. 03.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.17. 03.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



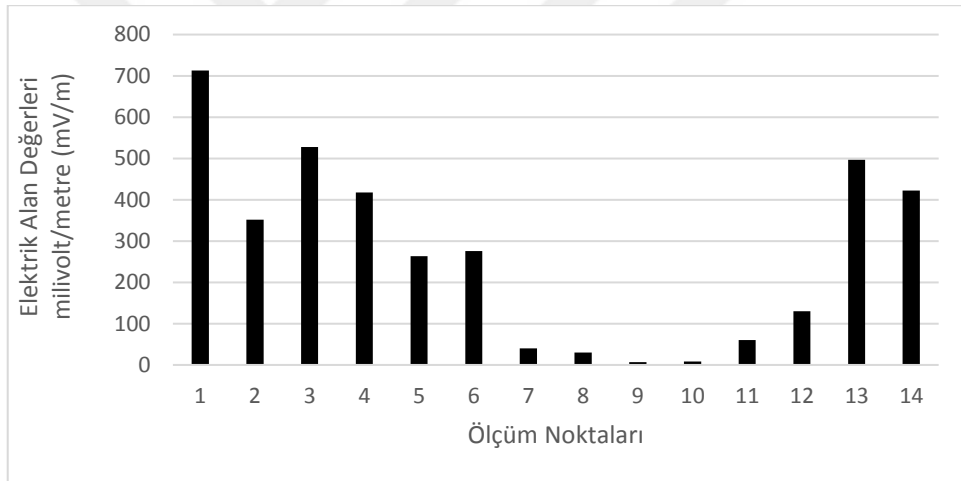
Şekil 3.18. 03.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan bar grafiği



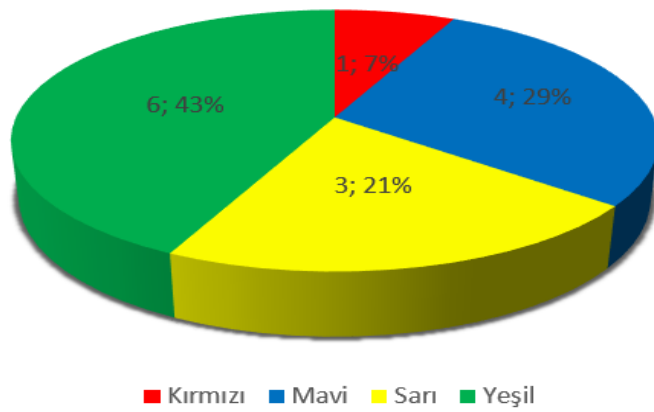
Şekil 3.19. 03.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.20. 04.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



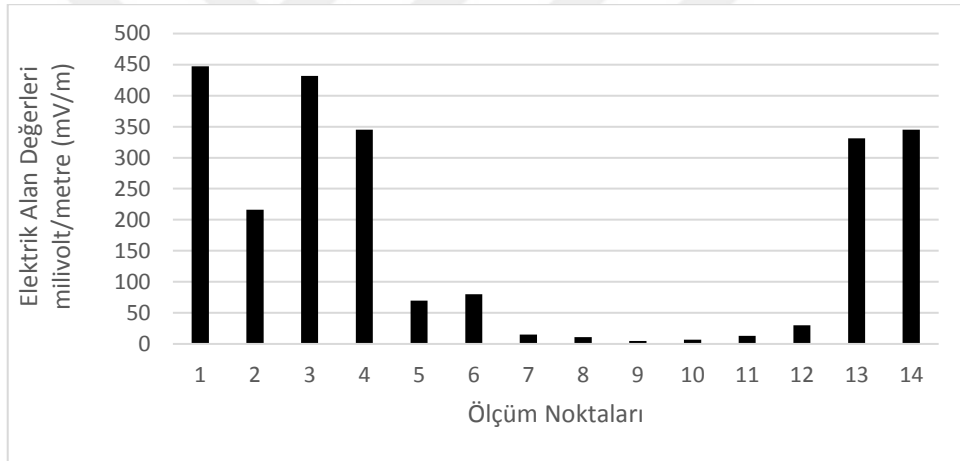
Şekil 3.21. 04.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan bar grafiği



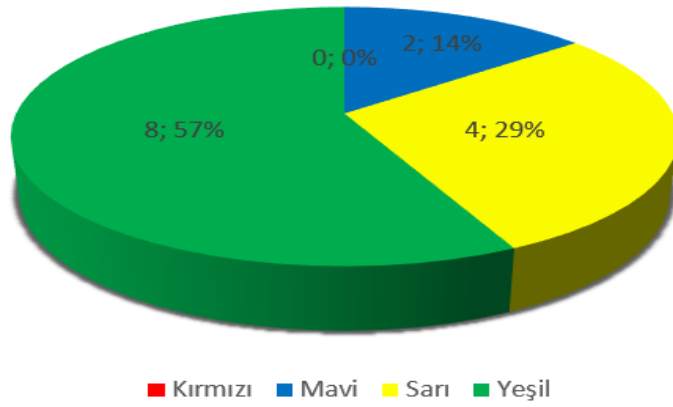
Şekil 3.22. 04.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.23. 04.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



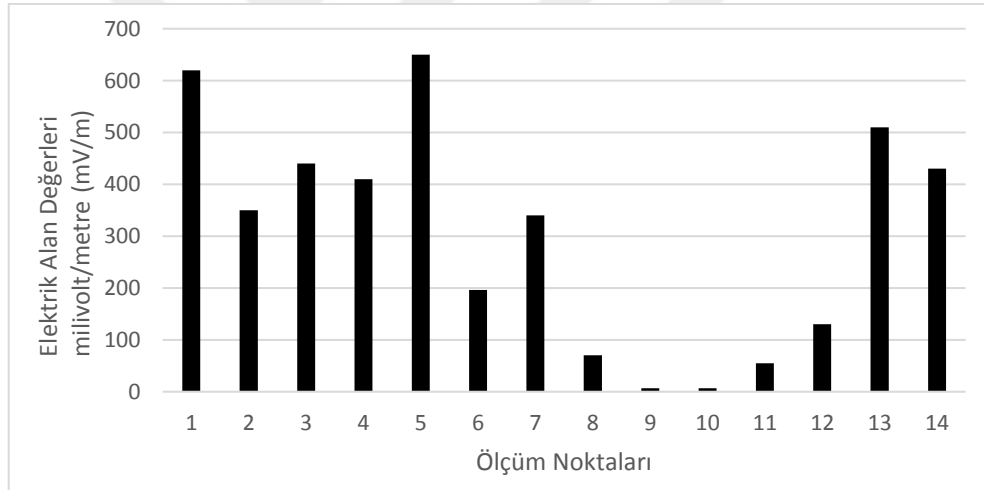
Şekil 3.24. 04.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan bar grafiği



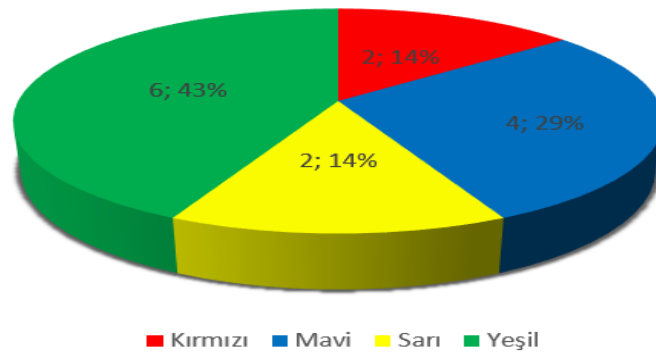
Şekil 3.25. 04.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



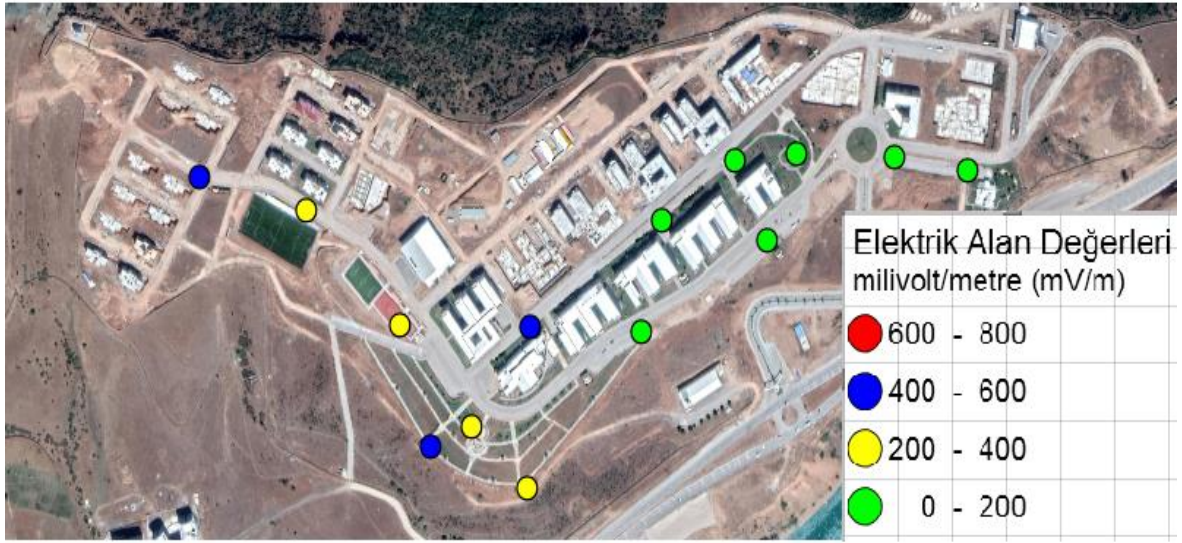
Şekil 3.26. 05.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



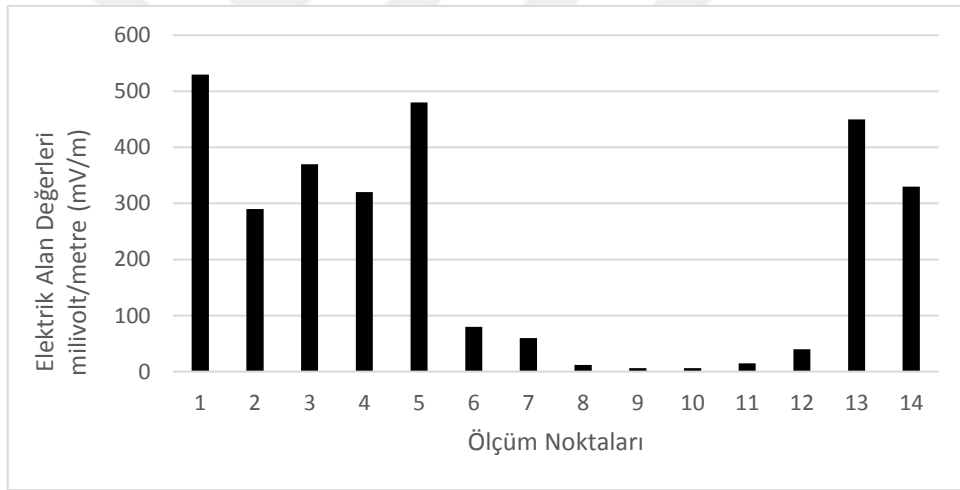
Şekil 3.27. 05.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan bar grafiği



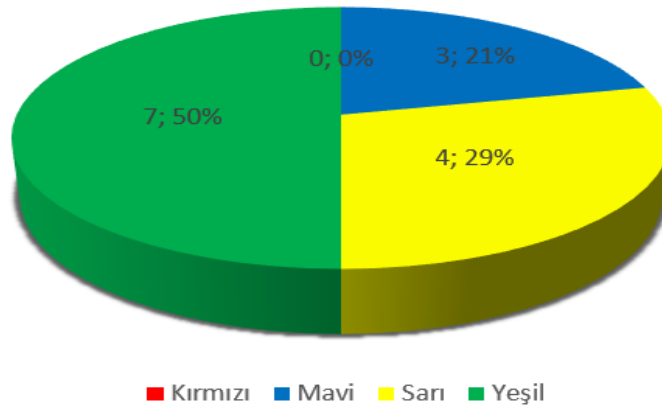
Şekil 3.28. 05.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.29. 05.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



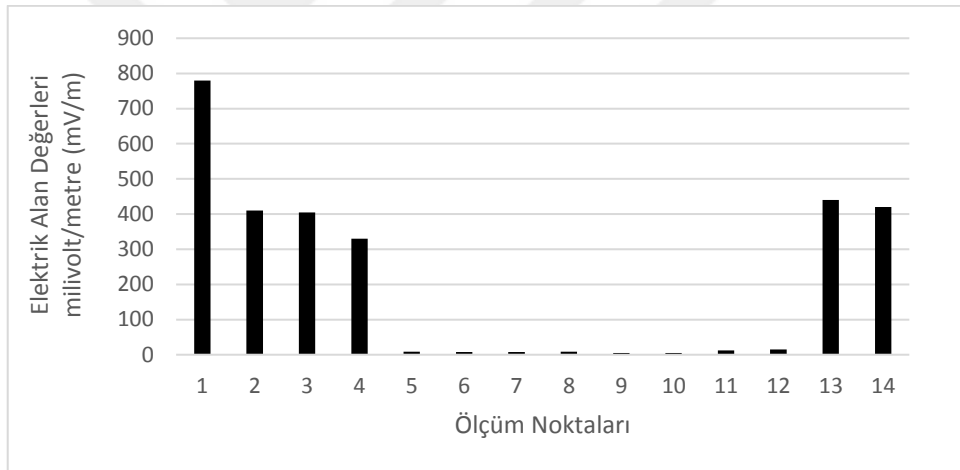
Şekil 3.30. 05.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan bar grafiği



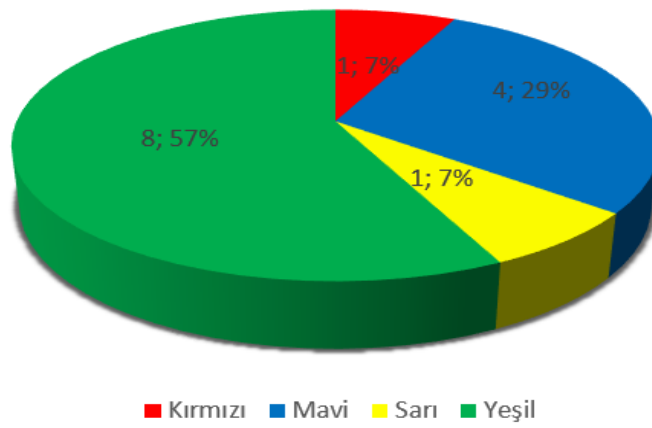
Şekil 3.31. 05.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.32. 06.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



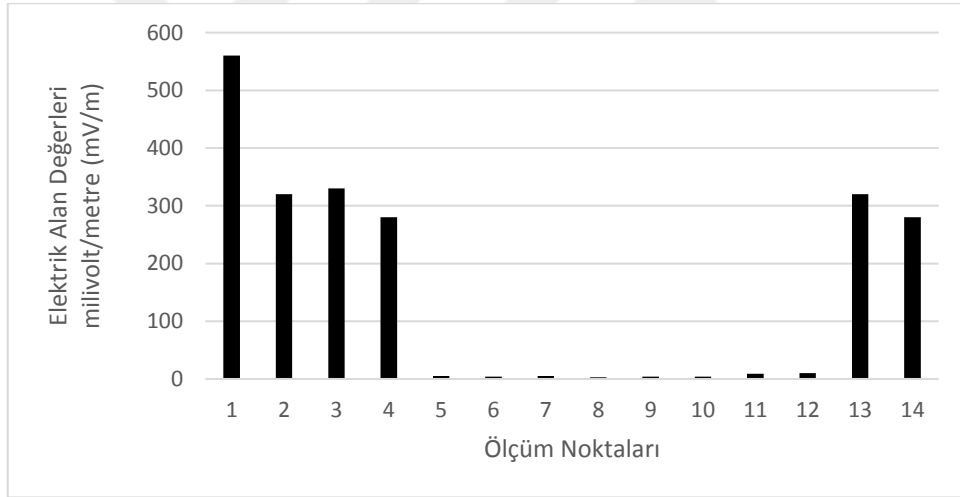
Şekil 3.33. 06.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan bar grafiği



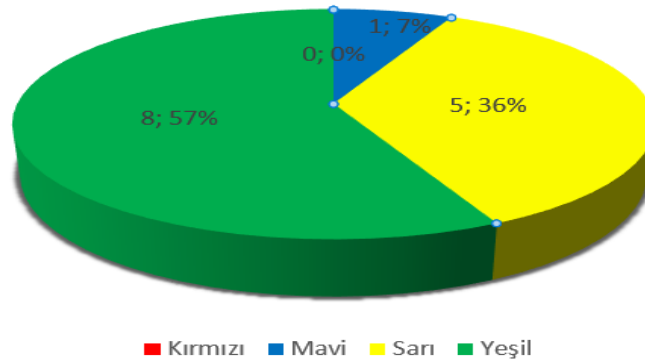
Şekil 3.34. 06.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.35. 06.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



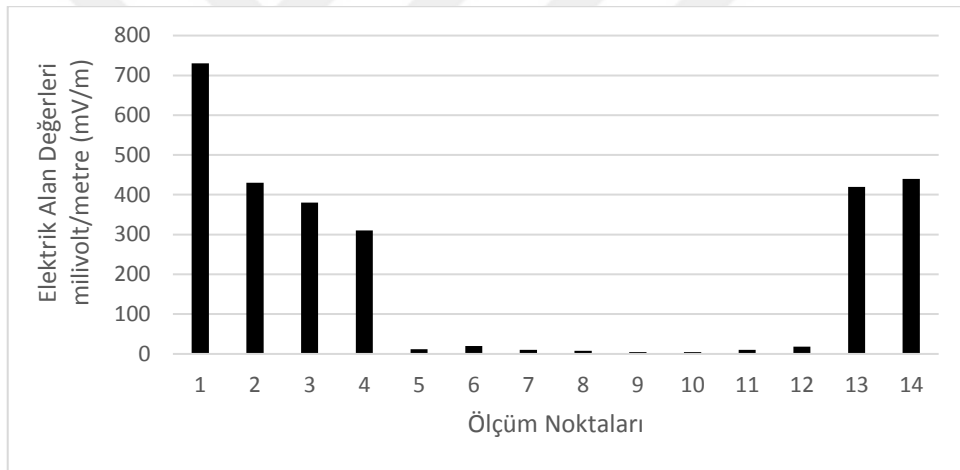
Şekil 3.36. 06.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan bar grafiği



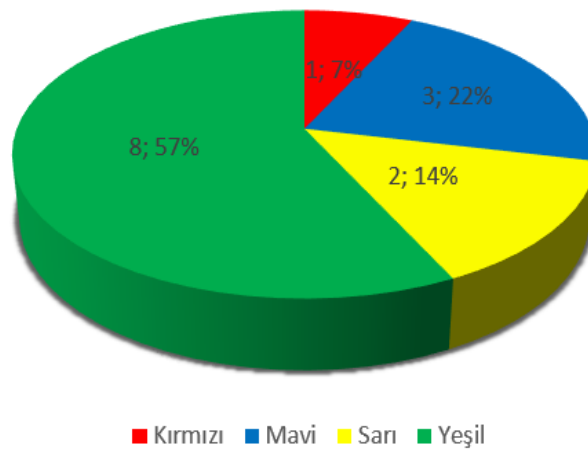
Şekil 3.37. 06.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.38. 07.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerlerle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



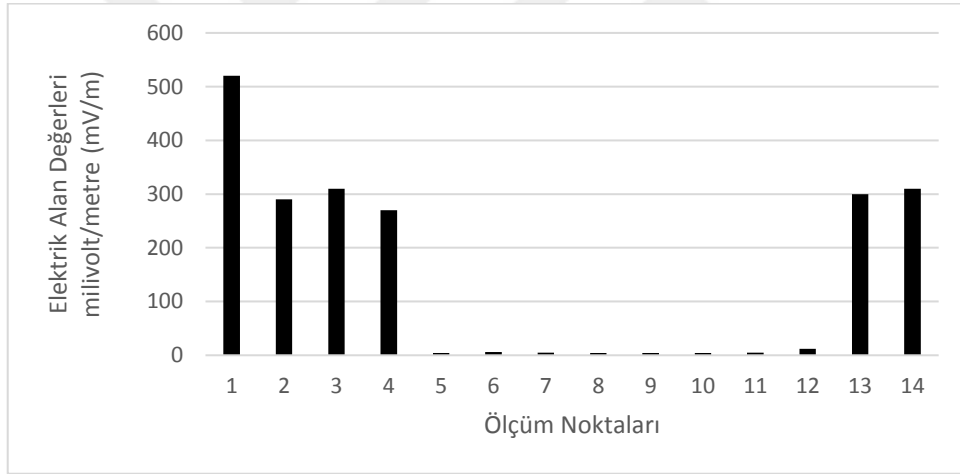
Şekil 3.39. 07.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan bar grafiği



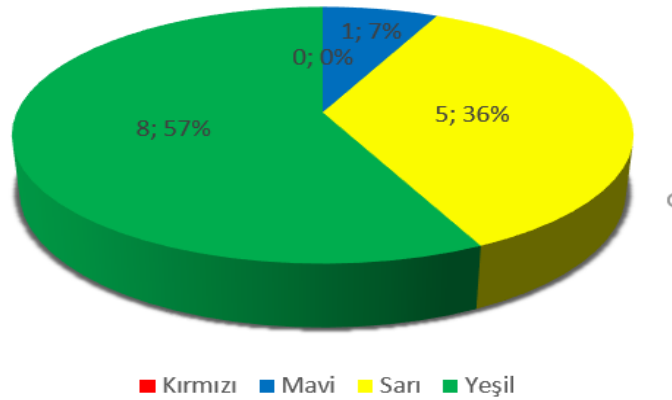
Şekil 3.40. 07.10.2018 tarihine ait anlık maksimum değerleriyle oluşturulan pasta grafiği



Şekil 3.41. 07.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan elektromanyetik alan haritası



Şekil 3.42. 07.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan bar grafiği



Şekil 3.43. 07.10.2018 tarihine ait maksimum ortalama değerleriyle oluşturulan pasta grafiği

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması Munzur Üniversitesi Aktuluk Yerleşkesinin elektromanyetik alan kirliliği konusu ile ilgili bilgi edinmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada yerleşke içerisinde insan yoğunluğunun fazla olduğu alanlar ile akademik ve idari birimleri barındıran binaların olduğu bölgelerin yakınlarda belirlenen noktalarda mesai saatleri içerisinde elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde elde edilen değerler ICNIRP'nin belirlemiş olduğu halk maruziyet limitleri ve ulusal kuruluş olan BTK tarafından belirlenen limit değerleriyle karşılaştırılmış olup bu değerlerin limit değerlerin oldukça altında olduğu görülmüştür.

Yerleşke içerisinde ölçüm yaparken 1,2,3,4,13 ve 14. noktalarda elde edilen değerler ölçüm yaptığımız noktalar içerisinde genellikle en yüksek değerleri aldığımız noktalardır. Bu durumun, üniversite yerleşkesi karşısında mevcut olan baz istasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Ölçüm yapılan noktalar arasında baz istasyonuna en yakın olan noktanın 1. nokta olmasından dolayı, burada alınan değerlerin sürekli en yüksek olma yönünde kararlılık gösterdiği düşünülmektedir.

Üniversite yerleşkesi içerisinde genellikle en düşük değerleri verme yönünde kararlılık gösteren noktalar rektörlük, sosyal tesisler ve teknoloji transfer ofisine yakın olan noktalardır.

Ölçüm sonuçlarının kullanılmasıyla oluşturulan elektromanyetik haritaların lejantlarına bakıldığında kırmızı, mavi, sarı ve yeşil olmak üzere toplamda 4 renk bulunmaktadır. Bu renkler belirli aralıktaki değerleri temsil etmektedir. Ölçüm yapılan noktalarda alınan değerler günden güne değişebilmekte ve bu değerleri temsil eden renkler de doğal olarak değişebilmektedir. Ölçüm noktalarına ait değerlerde yaşanan bu değişimlerin, yerleşke içerisindeki insanların günün farklı saatlerinde farklı yerlerde yoğunlaşabiliyor olmasından ve bu yoğunlaşmanın da telefon kullanım oranını farklılaştırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hafta içi ve hafta sonu ölçümlerde 1,2,3,4,13 ve 14. noktalarda anlık maksimum haritalar içerdiği renkler bakımından karşılaştırıldığında kayda değer bir değişim görülmemektedir. Diğer noktalar (5,6,7,8,9,10,11 ve 12. noktalar) için bir kıyaslama yapılacak olursa, bu noktaların tamamına hafta sonu sadece yeşil rengin hakim olduğu, hafta içi ise bazı noktalarda yeşilden farklı renklere geçişler olabileceği görülecektir. Bununla

birlikte 5,6,7,8,9,10,11 ve 12. noktalarda anlık maksimum değerlerin hafta içine göre çok daha düşük olduğu tablolara ve bar grafiklerine bakıldığında görülebilmektedir.

Maksimum ortalama değerlerini içeren elektromanyetik alan haritalarına bakıldığında bu haritaların hafta içi yapılan ölçümlerde mavi ve kırmızı renklerini içerebildiği görülebilmektedir. Aynı durum için hafta sonu haritalarına bakıldığında 1. nokta hariç diğer noktalarda sadece sarı ve yeşil renkler görülmektedir. Tablolara ve bar grafiklerine bakıldığında ise 5,6,7,8,9,10,11 ve 12. noktalarda maksimum ortalama değerler hafta içine göre daha düşük olmaktadır.

Hafta sonu yapılan ölçümlere ait olan anlık maksimum ve maksimum ortalama değerlerinde yaşanan bu tip düşüşlerin, yerleşke içerisinde insan yoğunluğunun hafta içine göre azalmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Elektromanyetik alan ölçümleri insanların yaşadığı tüm yerleşim yerlerinde periyodik olarak yapılmalı ve bu ölçüm sonuçları gerek ulusal kuruluşların gerekse uluslararası kuruluşların belirlediği limit değerlerle karşılaştırılmalıdır. Elektromanyetik alan kirlilik seviyelerini tespit edebilecek uygun ölçüm aletleri bulundurulmalı, ölçüm yapan kurum veya kuruluşların sayısı arttırılmalıdır.

Ölçüm sahaları olarak insan yoğunluğunun fazla olduğu bölgeler seçilmeli ve ölçümler özellikle GSM bantlarının daha fazla kullanıldığı gündüz saatlerinde yapılmalıdır. Yerleşim yerlerinin EM alanlarına maruz kalmaması mümkün olmadığından radyo ve TV vericilerinin, olabildiğince yüksek anten kuleleri üzerine ve yerleşim bölgelerinden uzak bölgelerde kurularak olası etkilerinin minimuma indirilmesi sağlanmalıdır.

Kurulması planlanan sistemlerin EM alan şiddeti, kurulacak yer ve güç açısından incelenerek EM alan değerleri, ulusal ve uluslar arası kuruluşların belirlediği limit değerlerin altında olanlara izin verilmelidir.

Kurulu sistemlerin EM alan şiddeti değerleri periyodik olarak ölçülmeli, radyasyon değerleri belirlenen limit değerleri aşan sistemlerin değerleri gerekli çalışmaların yapılması suretiyle düşürülerek sınır değerlerinin altına indirilmelidir. Aksi takdirde bu sistemlerin çalışmasına izin verilmemelidir.

ARCGIS ve MapInfo gibi programlar çalışma yapılacak bölgenin EM kirliliğinin haritalandırılması amacıyla kullanılarak elektromanyetik alan haritaları, kullanıma sunulan farklı yöntemler içinde ihtiyaca uygun olanın seçilmesiyle elde edilebilmektedir.

Elektromanyetik alanların kontrolü, denetlenmesi veya ölçümü ile ilgili olarak çalışma yapan kurum veya kuruluşların sağlık bakanlığı, okullar, üniversiteler, belediyeler,

sivil toplum örgütleri vb. tüm ilgili kurumlar ile ortak çalışmalarla toplumu bilinçlendirerek konu hakkında oluşan kaygıları gidermelidir. Günlük hayatta kullanılan elektromanyetik dalga yayan donanım ve bileşenlerin bilinçsiz kullanımını noktasında ortaya çıkacak olumsuz etkiler hakkında tüketicinin üretici tarafından bilgilendirilmesi gerekmektedir. Elektromanyetik alan kaynağı cihazların üzerinde, SAR değerleri belirtilmelidir. SAR değeri düşük cep telefonlar tercih edilmelidir.

Cep telefonları ile uzun süreli konuşmalar mümkün oldukça yapılmamalı, eğer imkân varsa kablolu kulaklık kullanılmalıdır. Cep telefonlarının uzun süreli kullanımının doğru bir yaklaşım olmadığı ve bundan kaynaklı olarak ortaya çıkabilecek sağlık sorunları ilgili kurum ve kuruluşların planlamasıyla yapılacak toplantı veya konferanslarla topluma anlatılmalıdır.

İnsanların baz istasyonlarının ölçüm değerleri ve yerleri hakkındaki bilgilere ulaşabilmeleri için gerekli imkanlar sağlanmalıdır. Baz istasyonlarının meslek kuruluşları veya üniversiteler tarafından gerekli görüldüğünde kontrol edilebilmesine yönelik imkanlar sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ambarcıoğlu, K. P.**, 2014. Radyasyona maruz kalan erkek sağlık personelinin çocuklarının cinsiyet oranı dağılımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Antic D., Djuric N., Kljajic D.**, 2014. Environmental EMF monitoring in the SEMONT system using quad-band AMB 8057/03 sensor", 2014 IEEE 10th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), Larnaca, 328-333
- Arslantaş, N.**, 2012. Elektromanyetik alan (EA) şiddetinin okul ve sağlık kuruluşları üzerindeki etkisinin incelenmesi, *Teknik Uzmanlık Tezi*, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara.
- Balcı, K.**, 2017. Edirne merkez ilçede bulunan ilkokullarda elektromanyetik kirlilik, *Uzmanlık Tezi*, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Edirne.
- Bayram, O.**, 2017. Elektromanyetik ışıınım ve insan sağlığına etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Coşkun, Ö., Çömlekçi, S.**, 2016. Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Araştırma ve Uygulama Hastanesinin elektromanyetik alan haritasının çıkarılması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(2); 93-97.
- Cansız, M., Abbasov, T., Celik, A. R., Kurt, M.B.**, 2016. Diyarbakır il merkezi'nde UMTS bandının mobil ölçümü ve istatistiksel analizi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(1); 85-92.
- Cansız, M.**, 2010. Diyarbakır il merkezinin elektromanyetik alan haritasının çıkarılması ve durum değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Cela, S., Kamo, B., Cakaj, S., Muka, Q., Mitrushi, R. M.**, 2013. An algorithm for processing the measurement results of electromagnetic field near 2G and 3G base stations in Albanian territory, 2013 21st International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks - (SoftCOM 2013), Primosten, pp. 1-5.
- Cheng, D. K.**, 1989. Field and Wave Electromagnetics, Wesley
- Cheng, D.K.**, 2009. Fundamentals of Engineering Electromagnetics, (Çev: Köksal, A., Saka, B.), Palme Yayıncılık, Ankara.
- Çerezci, O., Kartal, Z., Pala, K., Türkkan., A.**, 2012. Elektromanyetik alan ve sağlık etkileri, Nilüfer Belediyesi, Bursa.

- Çimen, B., Erdoğan, M., Oğul, R.,** 2017. İyonlaştırıcı radyasyon ve korunma türleri, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, 43(2); 139-147
- Demir, N.,** 2004. Elektromanyetik kirlilik ve kent yaşamına etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Düzgün, S.,** 2009. Elektromanyetik alanların insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Djuric, N., Kljajic, D., Kasas-Lazetic, K., & Bajovic, V.,** 2015. The SEMONT continuous monitoring of daily EMF exposure in an open area environment, Environmental monitoring and assessment, 187(4); 191.
- Erdin, K.,** 1978. Elektromanyetik dalgaların oluşumu ve uzaktan algılama, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 28(2).
- Etem, T.,** 2017. Muş bölgesindeki yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yayılmasının ölçümü, haritalandırılması ve değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Extech Instruments,** RF EMF Strength Meter Model 480846 User's Guide, 2014
- Genç, Ö.,** 2010. Radyo frekanslarında elektromanyetik kirliliğe gsm bantlarının etkisinin istatistiksel analizi, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Griffiths D. J.,** 1999. Introduction to Electrodynamics, New Jersey, 3rd ed.
- Güçlü, G. G.,** 2011. 50 Hz elektromanyetik alanlar ve biyolojik etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Güler, İ., Çetin, T., Özdemir A.R., Uçar, N.,** 2010. Türkiye elektromanyetik alan maruziyet raporu, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- Güner, R.,** 2014. Elektromanyetik alanların çalışanların sağlık ve güvenliğine etkisi ve alınacak tedbirler, T.C. Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü, İstanbul.
- Ibrani, M., Hamiti, E., Ahma, L., Halili, R., Dragusha, B.,** 2017. Comparative analysis of downlink signal levels emitted by GSM 900, GSM 1800, UMTS, and LTE base stations," 2017 16th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net), Budva, pp. 1-5.
- ICNIRP,** 1998. Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics, 74(4); pp:494–522.
- Isabona, J., Srivastava, V., M.,** 2017. Cellular mobile phone — A technical assessment on electromagnetic radiation intensity on human safety, 2017 IEEE 3rd International Conference on Electro-Technology for National Development (NIGERCON), Owerri, pp. 271-274.

- Ismail, A., Din, N. M., Jamaluddin, M. Z., Balasubramaniam, N.,** 2009. Electromagnetic assessment for mobile phone base stations at major cities in Malaysia, 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications (MICC), Kuala Lumpur, 150-153.
- İlhan, M. N.,** 2008. Bir tıp fakültesi hastanesinde elektromanyetik alan haritası çıkarılması ve sağlık çalışanlarında sağlık etkilerinin belirlenmesi, *Doktora Tezi* Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- İnce, T.,** 2007. Elektromanyetik kirlilik, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Kalın, M. A.,** 2015. Niğde ilinde bulunan baz istasyonlarının yaydığı elektromanyetik kirliliğin tespiti, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Karadağ, T., Özdemir, A. R., Abbasov, T.,** 2014. Seçilmiş bir pilot bölgede uzun süreli ve sürekli elektromanyetik kirlilik seviyelerinin ölçülmesi ve haritalanması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(3); 239-246.
- Keysan, A.,** 2015. Balıkesir ili şehir merkezi ve balıkesir üniversitesi çağış yerleşkesi' nin elektromanyetik alan haritası, *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Köklü, N.,** 2006. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri ve tıpta uygulama alanları, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kunter, F.,** 2015. Students exposure to radio frequency electromagnetic fields in marmara university, *Marmara Journal of Science* 2015, 1:48-56.
- Önal, E.,** 2005. Elektromanyetik alanların canlı organizmalara etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Enstitüsü, Malatya.
- Özer, A.,** 2014. Cep telefonu elektromanyetik ışımasının insan kulak bölgesinde sebep olduğu sıcaklık artışının termal görüntüleme tekniği, bulanık c-ortalama ve beklenti maksimizasyonu yöntemleri ile analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Özgümüş, B.,** 2010. Zonguldak kent merkezinin 100khz-3ghz frekans bandında elektromanyetik kirliliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Pala, Z., Etem, T., Çeçen, M.,** 2015. Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsünde elektromanyetik radyasyon değerlerinin ölçülmesi ve risk alanlarının belirlenmesi, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu*, Mersin.
- Paçacı, K. K., Alpay, G. N., Uçar, N., Kazancı, M.,** 2010. Spektrumda serbestleşme ve yeni eğilimler, *Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi*, Ankara.

- Polat, A. Ö.**, 2013. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesinin elektromanyetik kirlilik haritasının çıkarılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Polat, B.**, 2017. Sinop il merkezinin elektromanyetik alan kirlilik haritasının çıkarılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop.
- Polat, Ö.**, 2016. Elektromanyetik radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkilerinin öğretmen ve öğrenci görüşleri doğrultusunda incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Santana, T. A. A., Andrade, H. D., Junior, I. S., Holanda, S. M., Silva, J. L., Fontgalland, G., Magno, J. A. P.**, 2017. Measurement campaign on the electromagnetic environment in the central region of the city of Mossoro, 2017 *SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, Aguas de Lindoia, pp. 1-4.
- Sadoğlu, D.**, 2017. Cep telefonları tarafından yayılan elektromanyetik dalga (emd)'nin acil servis hekimlerinin dikkati üzerine olan akut etkileri, *Uzmanlık Tezi*, T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Bilimleri Üniversitesi Kanuni Eğitim ve Araştırma Hastanesi Acil Tıp Kliniği, Trabzon.
- Salman, O. A., Dolma, A., Mamedov, M., Sağlam, İ., Görken, E.**, 2014. Kocaeli İzmit İlçesi Karabaş Mahallesinin baz istasyonu kaynaklı gsm frekanslarındaki elektromanyetik alan şiddeti dağılımlarının ölçülmesi ve değerlendirilmesi, *Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa.
- Sarıkahya, N. M.**, 2014. Yaygın olarak kullanılan rf elektromanyetik alan kaynaklarının elektromanyetik kirlilik analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Saunders, S.R., Aragon-Zavala, A.**, 2007. Antennas and propagation for wireless communication systems, second edition, John Wiley & Sons, Inc., England.
- Schmitt, R.** 2002. Electromagnetics explained A Handbook for Wireless/ RF, EMC, and High-Speed Electronics, newnes.
- Seyfi, L.**, 2006. Cep telefonu ısımasının kullanıcı yönünde ekranlama yöntemiyle zayıflatılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Seybold, J.S.**, 2005. Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Silsüprü, G. B.**, 2014. Farklı işyerlerinde elektromanyetik alan değerlerinin ölçülerek sağlık etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Slesin, N.**, 2008. Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields, Maxcy-Rosenau-Last, PublicHealth and Preventive Medicine (Fifteenth edition), Wallace RB. (Ed). New York: McGraw-Hill Medical; 2008:747-754.
- Sorgucu, U., Kabalcı, Y., Develi, İ.**, 2011. GSM sistemlerin Türkiye'deki gelişimi ve baz istasyonlarının elektromanyetik kirlilikteki rolü, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 29- 32.
- Temane-Nyah, C., Victor, E.**, 2015. RF radiation exposure levels from the Valombola base station, in the faculty of engineering and IT vicinity, Ongwediva, Namibia, *2015 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC)*, Windhoek, 2015, pp. 27-31. doi: 10.1109/ETNCC.2015.7184803.
- Ursache, S., Salceanu, A., Neacsu, O.**, 2016. Indoor and outdoor measurements of the low frequency magnetic fields in an urban area," *2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)*, Iasi, 2016, pp. 376-379.
- Yaman, E.**, 2011. Hastane ortamında elektromanyetik alan etkilerinin ölçüm yoluyla belirlenmesi ve değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yaldız, E., Seyfi, L., Nacaroğlu, C.**, 2015. Selçuk Üniversitesi Kampüsünde (Konya) elektromanyetik kirlilik haritasının çıkarılması ve temiz güzergah belirlenmesi, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu*, Mersin.
- Yıldız, D., Kurnaz, Ç., Karagöl, S.**, 2015. Samsun Atakum İlçesine ait elektromanyetik kirlilik ölçümleri ve değerlendirmeler, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu*, Mersin.
- Vassilev, A., Ferber, A., Wehrmann, C., Pinaud, O., Schilling M., Ruddle, A.R.**, 2015. Magnetic Field Exposure Assessment in Electric Vehicles, in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 57, no. 1, pp. 35-43.
- URL-1**, 2018. <http://www.zamandayolculuk.com/html-3/elektromanyetik-tayf.html>
Erişim Tarihi: 09.05.2018
- URL-2**, 2018.
<http://www.atnf.csiro.au/outreach//education/senior/astrophysics/wavebands.html>
Erişim Tarihi: 09.05.2018
- URL-3**, 2018. <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r02.htm> Erişim Tarihi: 09.05.2018
- URL-4**, 2018. http://www.who.int/topics/radiation_ionizing/en/ Erişim Tarihi: 15.05.2018
- URL-5**, 2018. <http://www.trkd.org.tr/yararli-bilgiler/radyasyon-nedir/641-iyonlastirici-radyasyon.html> Erişim Tarihi: 09.05.2018

URL-6, 2018. http://www.who.int/topics/radiation_non_ionizing/en/
Erişim Tarihi: 15.05.2018

URL-7, 2018. <http://www.trkd.org.tr/yararli-bilgiler/radyasyon-nedir/642-iyonlastirici-olmayan-radyasyon.html> Erişim Tarihi: 09.05.2018

URL- 8, 2018. <https://www.icnirp.org/en/home/home-read-more.html>
Erişim Tarihi: 23.09.2018

URL- 9, 2018. Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği
<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.14927&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=cihazlar%C4%B1ndan>
Erişim Tarihi: 09.05.2018

URL- 10, 2018. <https://www.icnirp.org/en/frequencies/index.html>
Erişim Tarihi: 09.05.2018

URL-11, 2018. <https://www.icnirp.org/en/frequencies/low-frequency/index.html>
Erişim Tarihi: 09.05.2018

URL-12, 2018. <https://www.icnirp.org/en/frequencies/high-frequency/index.html>
Erişim Tarihi: 09.05.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Aziz Eren ÖZTÜRK

Doğum Yeri: Hakkâri

Doğum Tarihi: 11.04.1992

Medeni Hali: Bekâr

Eğitim Durumu:

Lise: Tunceli Türk Telekom Fen Lisesi (2006-2010) / Tunceli

Lisans: Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik – Elektronik
Mühendisliği (2010-2014) / Diyarbakır