

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HASTANE ORTAMINDA ELEKTROMANYETİK ALAN ETKİLERİNİN ÖLÇÜM
YOLUYLA BELİRLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ercan YAMAN

**NİSAN 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HASTANE ORTAMINDA ELEKTROMANYETİK ALAN ETKİLERİNİN ÖLÇÜM
YOLUYLA BELİRLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ercan YAMAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"Yüksek Lisans (Elektronik Mühendisliği)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.03.2011
Tezin Savunma Tarihi : 14.04.2011**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Adnan CORA
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Trabzon 2011

ÖNSÖZ

Bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı Yüksek Lisans programında hazırlanmıştır. Çalışmada Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Farabi Hastanesi içerisinde bulunan servislerde elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri, belirlenen limit değer ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmam süresince düşünceleriyle her aşamada bana yardımcı olan değerli danışmanım Yrd. Doç. Haydar Kaya'ya teşekkür ederim. Farabi Hastanesi'nde yapılan elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri sırasında yardımlarını esirgemeyen, Farabi Hastanesi Biyomedikal Birimi Sorumlusu Zekai Aydın'a, Biyomedikal Birimi çalışanlarına ve değerli arkadaşım Beril Selvi'ye çok teşekkür ederim.

Tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme çok teşekkür ederim. Bu tezin bundan sonra yapılacak olan çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Ercan YAMAN
Trabzon 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Maxwell Denklemleri	2
1.3. Elektromanyetik Dalgalar	3
1.4. Elektromanyetik Alan	5
1.4.1. Elektrik Alan	6
1.4.2. Manyetik Alan.....	6
1.5. Elektromanyetik Düzlem Dalga.....	7
1.5.1. Elektrik ve Manyetik Alan İfadeleri	8
1.5.2. Poynting Vektörü	10
1.6. Elektromanyetik Dalga Polarizasyonu.....	11
1.7. Elektromanyetik Dalga Yayılımı	11
1.7.1. Yansıma (Reflection)	11
1.7.2. Kırınım (Diffraction).....	12
1.7.3. Kırılma (Refraction).....	12
1.7.4. Saçılma (Scattering).....	12
1.8. Antenler.....	14
1.8.1. Giriş.....	14
1.8.2. Anten Işıma Paterni.....	14
1.8.3. Antenin Alan Bölgeleri	15
1.8.3.1. Reaktif Yakın Alan	16

1.8.3.2.	Işıyan Yakın Alan (Fresnel).....	17
1.8.3.3.	Uzak Alan (Fraunhofer)	17
1.8.4.	Polarizasyon (Kutuplanma).....	18
1.9.	Elektromanyetik Girişim (EMI) ve Elektromanyetik Uyumluluk (EMC).....	19
1.9.1.	Elektromanyetik Girişim (EMI).....	19
1.9.2.	Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)	21
1.9.3.	EMI ve EMC Problemleri	22
1.10.	Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerleri.....	29
1.11.	Elektromanyetik Alanın Biyolojik Etkileri	32
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	34
2.1.	Materyal ve Yöntem.....	34
2.2.	Elde Edilen Ölçüm Sonuçları.....	35
2.2.1.	Kadın Hastalıkları ve Doğum Servisi	35
2.2.1.1.	Doğumhane Odası.....	36
2.2.1.2.	Travay-1 Odası.....	37
2.2.1.3.	Travay-2 Odası.....	38
2.2.1.4.	Eklemsi Odası	39
2.2.1.5.	Doğumhane Koridoru	40
2.2.2.	Kardiyoloji Polikliniği	42
2.2.2.1.	EKG Laboratuvarı.....	42
2.2.2.2.	Poliklinik-1 Odası	42
2.2.2.3.	Efor Laboratuvarı.....	43
2.2.2.4.	EKO Laboratuvarı.....	44
2.2.3.	Çocuk Kardiyoloji EKO.....	46
2.2.3.1.	Pediyatrik Ekokardiyografi Odası.....	46
2.2.4.	Koroner Anjiyo Odası.....	47
2.2.5.	Röntgen Odası.....	48
2.2.6.	Tomografi Odası	49
2.2.7.	Nöroloji Polikliniği	50
2.2.7.1.	EEG Odası.....	50
2.2.8.	Radyoloji-Ultrason Odaları.....	52
2.2.9.	Uyku Bozuklukları Merkezi.....	55
2.2.10.	Çocuk EEG Servisi	58

2.2.10.1. EEG Kontrol Odası	58
2.2.10.2. EEG Çekim Odaları	59
2.2.10.3. EEG Video-Monitörizasyon Odası	59
2.2.11. Perinatoloji Ünitesi	61
2.2.12. Tüp Bebek Merkezi.....	63
2.2.13. Acil Servis.....	65
2.3. Ölçümlerin Değerlendirilmesi.....	67
3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	71
4. ÖNERİLER.....	73
5. KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte çevremizdeki elektronik cihazların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle hastane gibi hassas ortamlarda elektromanyetik alan kaynaklarının artması, cihazlar arasında elektromanyetik girişime sebep olurken insan sağlığı açısından da risk oluşturmaktadır.

Bu çalışmada Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Farabi Hastanesi içerisinde kritik bölgelerde ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Hastanenin bulunduğu bölgede TRT Trabzon orta dalga radyo vericisinin bulunması, vericinin gücüne ve çalışma saatlerine bağlı olarak o bölgede oluşturduğu elektromanyetik alandan dolayı hastane içerisinde bulunan bazı servislerde tıbbi cihazların etkilendiği görülmüştür.

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından sağlık kuruluşları için belirlenen limit değer olan 3V/m ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamalarının grafiksel gösterimleri Matlab programı yardımıyla elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Farabi Hastanesi, TRT Trabzon Orta Dalga Radyo Vericisi, Elektromanyetik Alan, Elektrik Alan Şiddeti, EMI, EMC

SUMMARY

Determination and Evaluation of the Effects of Electromagnetic Field in the Hospital through Measurement

The use of electronic devices is increasing with the rapid development of technology around us. The increase of electromagnetic field sources in susceptible environments, such as hospitals, causes electromagnetic interferences between devices, while also pose a risk to human health.

In this study electromagnetic field strength measurements has been taken in critical environments in Karadeniz Technical University Faculty of Medicine Farabi Hospital. Depending on the power of the transmitter and working hours, it is observed that the presence of TRT Trabzon Medium Wave Radio Transmitter in the vicinity of the hospital has effected some medical devices in the hospital due to the electromagnetic field it radiates.

The electric field strength values obtained from the result of measurements has been compared with the limit value of 3V/m, standard for the health care facilities set by Information Technologies and Communication Agency. In addition, graphical representations of the mean values of the electric field strength were obtained with the help of Matlab software.

Key Words: Karadeniz Technical University Farabi Hospital, TRT Trabzon Medium Wave Radio Transmitter, Electromagnetic Field, Electric Field Strength, EMI, EMC

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Elektrik alan (E) ve Manyetik alan (H) gösterimi	8
Şekil 1.2. Elektromanyetik dalga yayılımı gösterimi	13
Şekil 1.3. Yönsesiz anten paterni gösterimi	15
Şekil 1.4. Antenin alan bölgeleri gösterimi	16
Şekil 1.5. Anten genlik paterni (reaktif yakın alandan uzak alana doğru) gösterimi.....	18
Şekil 1.6. Tipik EMC ve EMI problemleri	23
Şekil 1.7. EMC probleminin genel görüntüsü	24
Şekil 1.8. EMC sızıntı ve bağışıklık limitleri gösterimi	26
Şekil 2.1. Doğumhane odası ölçüm çalışması	36
Şekil 2.2. Travay-1 odası ölçüm çalışması	37
Şekil 2.3. Travay-2 odası ölçüm çalışması	38
Şekil 2.4. Eklemsi odası ölçüm çalışması	39
Şekil 2.5. Doğumhane koridoru ölçüm çalışması	40
Şekil 2.6. Kadın hastalıkları ve doğum servisi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi ..	41
Şekil 2.7. Efor laboratuvarı ölçüm çalışması	43
Şekil 2.8. EKO laboratuvarı ölçüm çalışması	44
Şekil 2.9. Kardiyoloji polikliniği ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi	45
Şekil 2.10. Pediatrik Ekokardiyografi odası ölçüm çalışması	46
Şekil 2.11. Anjiyo odası ölçüm çalışması	47
Şekil 2.12. Röntgen odası ölçüm çalışması	48
Şekil 2.13. Tomografi odası ölçüm çalışması	49
Şekil 2.14. Diğer servislerdeki ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi	51
Şekil 2.15. Radyoloji-Ultrason odaları ölçüm çalışması	52
Şekil 2.16. Radyoloji-Ultrason odaları ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi	54
Şekil 2.17. Uyku bozuklukları merkezi ölçüm çalışması	55
Şekil 2.18. Uyku bozuklukları merkezi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi	57
Şekil 2.19. Çocuk EEG servisi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi	60
Şekil 2.20. Perinatoloji ünitesi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi	62

Şekil 2.21. Tüp bebek merkezi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	64
Şekil 2.22. Acil servis ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi	66

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Maxwell denklemlerinin diferansiyel ve İntegral gösterimi	2
Tablo 1.2.	Elektromanyetik Dalga Kaynakları	4
Tablo 1.3.	Ortam için belirlenen limit değerler	30
Tablo 1.4.	Tek bir cihaz için belirlenen limit değerler	31
Tablo 2.1.	Doğumhane odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları	36
Tablo 2.2.	Travay-1 odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları	37
Tablo 2.3.	Travay-2 odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları	38
Tablo 2.4.	Eklemsi odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları	39
Tablo 2.5.	Doğumhane koridorunda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	40
Tablo 2.6.	EKG laboratuvarında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	42
Tablo 2.7.	Poliklinik-1 odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	42
Tablo 2.8.	Efor laboratuvarında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları	43
Tablo 2.9.	EKO laboratuvarında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	44
Tablo 2.10.	Pediyatrik Ekokardiyografi odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	46
Tablo 2.11.	Anjiyo odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	47
Tablo 2.12.	Röntgen odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	48
Tablo 2.13.	Tomografi odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	49

Tablo 2.14.	Nöroloji polikliniği servisi içinde bulunan EEG odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	50
Tablo 2.15.	Radyoloji-Ultrason odalarında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları.....	53
Tablo 2.16.	Uyku bozuklukları merkezinde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları.....	56
Tablo 2.17.	EEG kontrol odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları	58
Tablo 2.18.	EEG çekim odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları	59
Tablo 2.19.	EEG Video-Monitörizasyon odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması	59
Tablo 2.20.	Perinatoloji ünitesinde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları	61
Tablo 2.21.	Tüp bebek merkezinde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları	63
Tablo 2.22.	Acil servis içerisinde bulunan odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları.....	65

SEMBOLLER DİZİNİ

A	:	Amper
AM	:	Genlik modülasyonu (Amplitude Modulation)
B	:	Manyetik akı yoğunluğu
BEM	:	Biyoelektromanyetik
BTK	:	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
c	:	Serbest uzaydaki ışık hızı
C	:	Coulomb
CRT	:	Cathode Ray Tube
d	:	Güvenlik mesafesi
D	:	Elektrik akı yoğunluğu
D	:	Maksimum anten boyu
dB	:	Desibel
dk	:	Dakika
E	:	Elektrik alan şiddeti
EEG	:	Electroencephalogram
EKO	:	Ekokardiyografi
EKG	:	Elektrokardiyogram (Electrocardiogram-ECG)
ELF	:	Extremely Low Frequency
EM	:	Elektromanyetik
EMA	:	Elektromanyetik Alan
EMC	:	Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility)
EMD	:	Elektromanyetik Dalga
EMI	:	Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference)
EMR	:	Elektromanyetik Radyasyon
ESD	:	Elektrostatik deşarj
E_0	:	Elektrik alan genliği
$\vec{E}$	:	Elektrik alan vektörü
f	:	Frekans
F	:	Farad
FM	:	Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation)

G	:	Antenin kazancı
GHz	:	Gigahertz
GSM	:	Global System for Mobile Communications
H	:	Henry
H	:	Manyetik alan şiddeti
Hz	:	Hertz
H_0	:	Manyetik alan genliği
$\vec{H}$	:	Manyetik alan vektörü
I	:	Elektromanyetik dalganın şiddeti
ICNIRP	:	International Commission on Non-Ionising Radiation Protection
IEEE	:	Institute of Electrical and Electronic Engineers
INIRC	:	International Non-Ionising Radiation Committee
IRPA	:	International Radiation Protection Association
J	:	İletkenlik akım yoğunluğu
J	:	Joule
k	:	Faz sabiti
kg	:	Kilogram
kHz	:	Kilohertz
kV	:	Kilovolt
kW	:	Kilowatt
LCD	:	Sıvı kristal ekran (Liquid Crystal Display)
m	:	Metre
MHz	:	Megahertz
MR	:	Manyetik Rezonans
Np	:	Neper
NST	:	Non Stres Test
rad	:	Radyan
RF	:	Radyo frekansı (Radio Frequency)
s	:	Saniye
SAR	:	Spesifik Absorbsiyon Hızı (Specific Absorbsion Rate)
$\vec{S}$	:	Poynting vektörü
T	:	Tesla

TRT	:	Türkiye Radyo ve Televizyon Kurumu
TV	:	Televizyon
V	:	Volt
W	:	Watt
Wb	:	Weber
YGH	:	Yüksek gerilim hattı
μV	:	Mikrovolt
α	:	Zayıflama sabiti
λ	:	Dalga boyu
ω	:	Açısal frekans
Ω	:	Ohm
ρ	:	Uzaysal yük yoğunluğu
σ	:	İletkenlik
η	:	Dalga empedansı
η_0	:	Serbest uzayın dalga empedansı
μ	:	Manyetik geçirgenlik
μ_0	:	Serbest uzayın manyetik geçirgenliği
μ_r	:	Bağıl manyetik geçirgenlik
ε	:	Malzemenin elektriksel geçirgenliği
ε_r	:	Bağıl geçirgenlik ve malzemenin dielektrik sabiti
ε_0	:	Serbest uzayın elektriksel geçirgenliği

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüz dünyasında hızla gelişmekte olan teknoloji, insan yaşamını kolaylaştırdığı için insan hayatında önemli bir yer teşkil etmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte insan hayatında yer edinen elektronik cihazlar, sağladığı yararlarının yanı sıra oluşturdıkları elektromanyetik alan (Electromagnetic Field) ile insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Elektromanyetik alan, elektrik ve manyetik alan bileşenlerine sahip olduğu için elektrik enerjisi ile çalışan tüm sistem ve cihazlar tarafından oluşturulmaktadır. Bu sistem ve cihazlar, radyo ve TV vericileri, cep telefonları, bilgisayarlar, yüksek gerilim iletim hatları, askeri hava savunma sistemleri, uydu haberleşme sistemleri, endüstride RF frekansında çalışan sistemler, enerji nakil hatları ve trafo istasyonları, elektrikli trenler, evlerde kullanılan televizyon, buzdolabı, çamaşır makinesi, saç kurutma makinesi, mikrodalga fırınlar, elektrik süpürgeleri, ütü, floresan lamba, müzik setleri, bilgisayar monitörleri (CRT ve LCD), tüm akım taşıyan kablolar insanları elektromanyetik alana maruz bırakmaktadır. Hatta sağlık kuruluşlarında tedavi amaçlı çeşitli frekanslarda kullanılan elektronik cihazlar, insanlara daha sağlıklı bir yaşam için yararlı olsalar da bir o kadar da bulunduğu ortamda oluşturdıkları elektromanyetik alandan dolayı insan hayatını ciddi boyutta risk altına almaktadır. İnsanların maruz kalmış oldukları elektromanyetik alanların insan vücuduna etkileri, alanın şiddetine, mesafeye, vücudun elektriksel özelliklerine ve bu alanlara maruz kalma süresine göre değişmektedir.

James Clerk Maxwell, 1864 yılında ışığın elektromanyetik dalgalarından oluştuğunu keşfetmesiyle ışığın değişen bir elektrik alanı (E) ve yine değişen elektrik alanı dik olan bir manyetik alan (H)'den oluştuğu teorisini ortaya koymuştur. Maxwell, bu elektromanyetik dalgaların uzay boşluğunda yaklaşık olarak $3 \cdot 10^8$ m/s 'lik bir hızla ilerlediklerini göstermiştir. Elektromanyetik teoremin temeli olan Maxwell'in elde ettiği denklemler; zamanla değişen bir elektrik alanının bir manyetik alan oluşturması gibi, zamanla değişen bir manyetik alanın da bir elektrik alan oluşturacağını söyler. Buradan Maxwell teorisi ile elektrik ve manyetik alanlar arasında çok önemli bağlantıları gerçekleştirmiştir.

1.2. Maxwell Denklemleri

Maxwell'in yaptığı çalışmalar sonucunda elde ettiği denklemler elektromanyetik teoremin dolayısıyla haberleşmenin önünü açmıştır. James Clerk Maxwell'in formüle etmesi nedeniyle Maxwell denklemleri olarak bilinen bu denklemler, herhangi bir dielektrik ve manyetik malzemenin olmadığı ortamda, yani serbest uzayda Tablo 1.1'de verilen denklemlerle ifade edilir [1].

Tablo 1.1. Maxwell denklemlerinin diferansiyel ve integral gösterimi

Yasa Adı	Diferansiyel Gösterimi	İntegral Gösterimi
Gauss Yasası	$\nabla \cdot D = \rho$	$\int_C D \cdot ds = \int_V \rho \cdot dv$
Manyetizma için Gauss Yasası (manyetik alanın kaynağı yoktur)	$\nabla \cdot B = 0$	$\int_V B \cdot ds = 0$
Faraday'ın İndüksiyon Yasası	$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$	$\int_C E \cdot dl = - \int_S \frac{\partial B}{\partial t} \cdot ds$
Ampère Yasası (Maxwell'in eklemesiyle)	$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$	$\int_C H \cdot dl = \int_S \left(J + \frac{\partial D}{\partial t} \right) \cdot ds$

Tablo 1.1’de belirtilen yasaları açıklarsak;

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

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

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \mu_0 \epsilon_0 \partial \vec{E} / \partial t \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir [1,2,3].

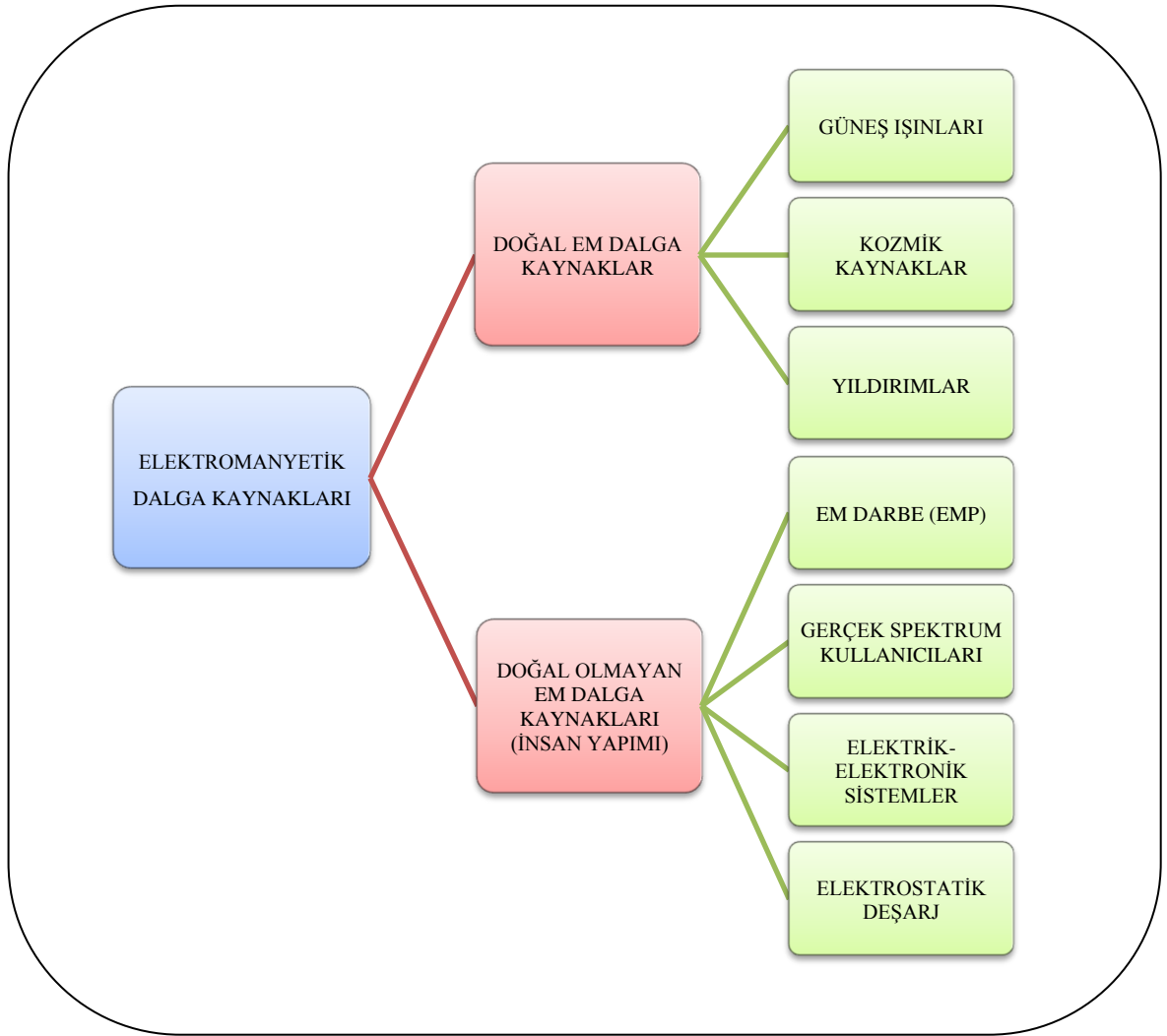
1.3. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik dalga bir radyo frekans kaynağından üretilen ve boşlukta yayılan bir alandır. Günümüzde özellikle haberleşmede sınırsız ortamda kullanılan elektromanyetik dalgalar elektrik ve manyetik alan bileşenleri birbirine dik olacak şekilde ve boşlukta yaklaşık olarak $3 \cdot 10^8$ m/s hızla yayılmaktadır. Boş uzayda ışık hızı ile ilerleyen, elektrik ve manyetik alan bileşenlerine sahip olan enine dalgalara elektromanyetik dalgalar denir.

Günlük yaşamımızda ne kadar sık ve uzun süreli kullandığımızın farkına bile varmadığımız elektronik cihazlar elektromanyetik alan (EMA) yaratmaktadır.

Elektromanyetik dalgalar, doğal ve doğal olmayan (insan yapımı) kaynaklar tarafından yayılmakta ve hayatımızda önemli bir rol oynamaktadır. Radyo Frekans (RF) bölgesinde yer alan elektromanyetik dalgalar iletişimde, radyo ve televizyon yayınlarında kullanılmaktadır. Doğal ve doğal olmayan elektromanyetik dalga kaynakları Tablo 1.2’de gösterilmiştir. Elektromanyetik dalga kaynakları aynı zamanda elektromanyetik girişim kaynaklarıdır.

Tablo 1.2. Elektromanyetik Dalga Kaynakları



Tablo 1.2’de verilen doğal olmayan (insan yapımı) elektromanyetik enerji kaynaklarının bazıları verilecek olursa, bunlar;

- Elektrik akımı taşıyan yer altı ve yer üstü elektrik hatları,
- TV ve Bilgisayarlar,
- Elektrikli ev aletleri (Elektrikli süpürge, saç kurutma makinesi, v.b.)
- Mikrodalga fırınlar,
- Radyo ve TV vericileri,
- Tıbbi cihazlar,
- Telsiz haberleşme sistemleri,
- Hücresel telefon sistemleri (Baz istasyonları ve GSM telefon cihazları)

gibi elektromanyetik dalga yayan insan yapımı elektromanyetik enerji kaynaklarıdır. Evlerdeki elektrik tesisatı ve güç iletim hatlarının neden olduğu alanlar 50 Hz’lik olduğundan dolayı bu alanlar çok düşük frekanslı (Extremely Low Frequency, ELF) alanlar olarak adlandırılır [2,4,5,6,7,8].

Elektromanyetik dalgayı düşük frekanslı ve yüksek frekanslı olarak sınıflandırırsak düşük frekanslı elektromanyetik dalgaları elektromanyetik alanlar, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar ise elektromanyetik radyasyon olarak sınıflandırılabilir.

1.4. Elektromanyetik Alan

Elektromanyetik alan, elektrik yükü olan parçacıkların çevrelerinde yarattıkları ve diğer yüklü parçacıklar üzerinde kuvvet uygulayan bir etkidir. Bu kuvvet çekme, itme veya aradaki doğruya dik yönde olabilir. Elektromanyetik alan belli bir frekansta salınan ve birbirleri arasında belli bir mesafe olan bir dizi dalga şeklinde tanımlanabilir. Diğer bir deyişle elektromanyetik alan, elektrik alan ile manyetik alanın birleştirilmiş halidir.

Elektromanyetik alanların çok geniş bir frekans aralığı mevcut olup, 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 değişmektedir. Elektromanyetik alan, elektromanyetik enerji taşıyan bir dalga hareketi olarak da tanımlanabilir [2,4,5].

1.4.1. Elektrik Alan

Elektrik alan, duran yüklerin (parçacıkların) oluşturduğu bir alan yani bir elektrik yükü tarafından oluşturulan ve birim yüke etki eden vektörel kuvvet olarak ifade edilir.

Elektrik alan “E” ile gösterilir. Elektrik alan birimi Volt/metre (V/m)’ dir. Elektrik alan, akı yoğunluğuna (D) ve malzemenin elektriksel geçirgenliğine (ϵ) bağlıdır. Elektrik akı yoğunluğu “D” ile gösterilir. Birimi Coulomb/metre-kare (C/m^2)’dir [9].

$$D = \epsilon \cdot E \quad (5)$$

Akı yoğunluğu vektörü, elektrik alan vektörü ile aynı yöne sahip ve şiddeti elektrik alanı oluşturan yük ile orantılı olan bir vektördür.

Dielektrik maddelere özgü bir özellik olan elektriksel geçirgenlik, bir malzeme içinde sınırlanmış yüklerin sayısının bir ölçütüdür. Elektriksel geçirgenlik “ ϵ ” ile gösterilir. Birimi Farad/metre (F/m)’dir. Elektriksel geçirgenlik, serbest uzayın elektriksel geçirgenliği (ϵ_0) ve malzemenin dielektrik sabiti olarak ifade edilen (ϵ_r) nin çarpımına eşittir [9].

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (6)$$

$$\epsilon_0 = 10^{-9}/36\pi \cong 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ (F/m)} \quad (7)$$

1.4.2. Manyetik Alan

Manyetik alan, hareketli ve elektrik yüklü zerrecelerin, güç etkisinde kaldığı boşluk olup atomların içindeki elektronların çekirdek etrafında ve kendi etraflarında dönmeleri sonucu oluşur. Kısaca Manyetik alan, düzgün doğrusal (ivmesiz) hareket eden yüklerin (parçacıkların) oluşturduğu alana denir. Yani akım geçiren her şey manyetik alan oluşturur. Manyetik alan da elektrik alan gibi vektörel (büyüklüğü ve yönü olan) bir niceliktir. Manyetik alan “H” ile gösterilir ve birimi Amper/metre (A/m)’dir [9].

$$B = \mu \cdot H \quad (8)$$

Manyetik olmayan malzemeler için manyetik alan şiddeti ve manyetik akı yoğunluğu arasında manyetik geçirgenlik (μ) ile doğru orantılıdır. Manyetik akı yoğunluğu “B” ile gösterilir. Birimi Tesla (T) veya Weber/metre-kare (Wb/m^2) olarak ifade edilir. SI birim sisteminde manyetik akı yoğunluğu Tesla olarak kullanılır. Buna göre; $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$ ’dir.

Manyetik geçirgenlik “ μ ” ile gösterilir. Malzemenin manyetik geçirgenliğinin birimi Henry/metre (H/m)’dir. Manyetik geçirgenlik, bağıl manyetik geçirgenlik (μ_r) ve serbest uzayın manyetik geçirgenliği (μ_0) cinsinden ifade edilir [9]. Ayrıca serbest uzayın bağıl manyetik geçirgenliği 1’dir [10]. Manyetik geçirgenlik;

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir. Serbest uzayın manyetik geçirgenliği;

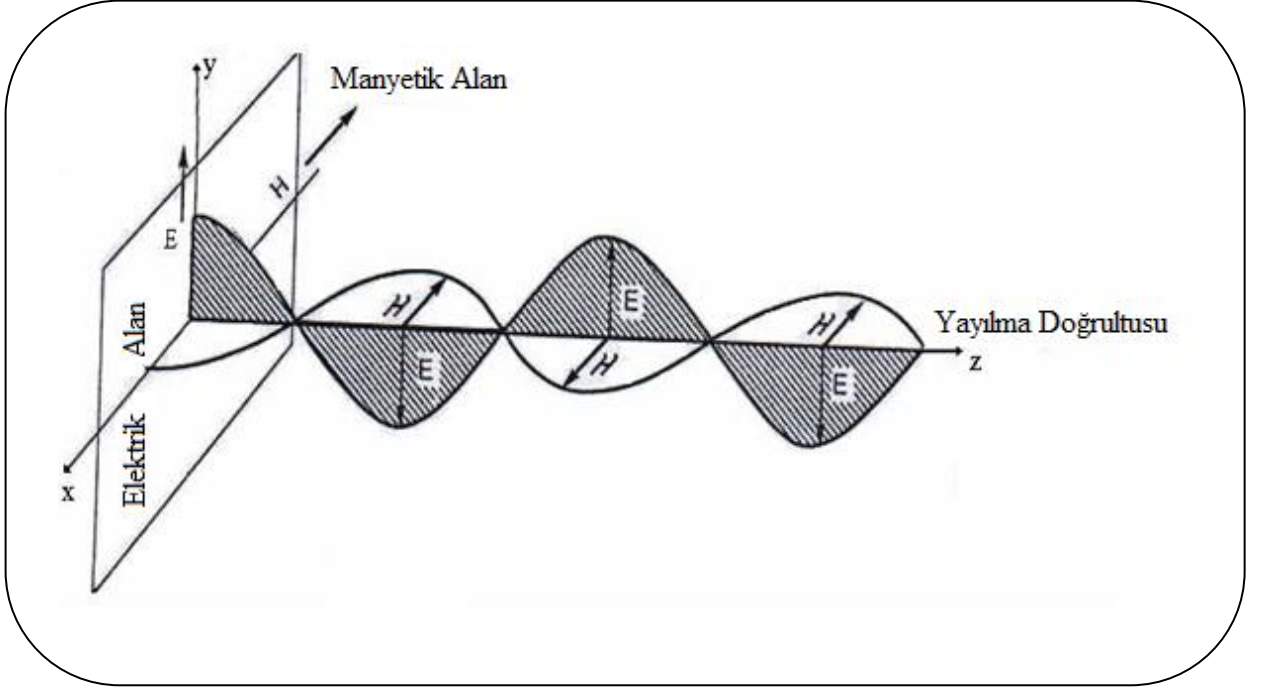
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (H/m)} \quad (10)$$

şeklindedir.

1.5. Elektromanyetik Düzlem Dalga

Uzayın her noktasında zamanla değişen elektrik ve manyetik alan vektörleri ilerleme yönüne dik olarak hareket ediyorsa elektromanyetik düzlem dalga olarak adlandırılırlar. Elektrik ve manyetik alan vektörleri birbirlerine ve yayılma doğrultusuna diktir. Bunlar enerji ve momentum taşırlar. Şekil 1.1’de $t=0$ zamanından itibaren z-eksenine paralel olarak yayılan bir düzlem dalga gösterilmektedir.

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi elektrik ve manyetik alan değişimi aynı fazdadır yani manyetik ve elektrik alan birlikte artıp birlikte azalmaktadır. Elektrik ve manyetik alanların x-y düzleminde genlikleri sabittir. Sabit fazların oluşturduğu dalga cephesi x-y düzlemine paralel bir düzlem meydana getirir. Bu da düzlem dalga teriminin esasını oluşturmaktadır. Maxwell denklemleri gereğince; salınım yapan bir elektrik alan daha sonra tekrar aynı elektrik alanı oluşturacak bir manyetik alan üretir. Elektrik alan ve manyetik alanlar arasındaki bu etkileşim sonucu enerji muhafaza edilir ve güç yayılma doğrultusu boyunca taşınabilir.



Şekil 1.1. Elektrik alan (E) ve Manyetik alan (H) gösterimi [2].

Elektromanyetik dalgaların sahip olduğu özellikler frekans, dalga boyu, şiddet olarak ifade edebiliriz. Bu özellikler tanımlanacak olursa;

Frekans (f): Elektromanyetik dalgaların saniyede yaptığı salınım sayısına yani kendilerini tekrarlama sıklığına frekans denilmektedir. Frekansın birimi Hertz (Hz)'dir.

Dalga boyu (λ): Elektromanyetik dalgaların bir salınımda aldıkları yola dalga boyu denilmektedir. Dalga boyunun birimi metre (m)'dir.

Şiddet (I): Elektromanyetik dalganın şiddeti, birim yüzeyden geçen ortalama güç olarak tanımlanır [2,3].

1.5.1. Elektrik ve Manyetik Alan İfadeleri

Düzlem dalganın kayıpsız bir ortamda yayıldığını düşünürsek, elektrik alan vektörü ifadesi;

$$\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - kz) \hat{x} \quad (11)$$

şeklinde olur.

Denklem (11)'de belirtilen E_0 ; elektrik alan genliğini (V/m), f ; frekans olmak üzere $\omega=2\pi f$ radyan cinsinden açısal frekansı, t ; saniye (sn) cinsinden geçen zamanı, z ; z eksenini üzerindeki mesafeyi (m), $\hat{x}$; x ekseninin pozitif yönündeki birim vektörü ve k , faz sabitini (rad/m) ifade etmektedir.

Faz sabiti, alanın belirli bir mesafeyi kat ettikten sonra fazında meydana gelen değişimin bir oranıdır.

$$k = 2\pi/\lambda \quad (12)$$

Manyetik alan vektörü ifadesi;

$$\vec{H} = H_0 \cos(\omega t - kz) \hat{y} \quad (13)$$

şeklinde olur. Formülde belirtilen H_0 ; manyetik alan genliğini (H/m), f ; frekans (Hz) olmak üzere $\omega=2\pi f$ radyan cinsinden açısal frekansı, t ; saniye (sn) cinsinden geçen zamanı, z ; z eksenini üzerindeki mesafeyi (m), $\hat{y}$; y ekseninin pozitif yönündeki birim vektörü ve k , faz sabitini (rad/m) ifade etmektedir.

Ayrıca alan ifadeleri, zamana ve mesafeye bağlı olarak sinüzoidal bir değişim göstermektedir. Elektrik ve manyetik alan büyüklüklerinin kayıplı ortamlar için karmaşık ifadeleri ise;

$$\vec{E} = E_0 e^{[j(\omega t - kz) - \alpha z]} \hat{x} \quad (14)$$

$$\vec{H} = H_0 e^{[j(\omega t - kz) - \alpha z]} \hat{y} \quad (15)$$

Kayıplı ortamın zayıflama sabiti “ α ” ile gösterilir. Birimi Neper/metre (Np/m) veya desibel/metre (dB/m)’dir. Dalganın yayıldığı ortam kayda değer miktarda iletken ise dalganın taşıdığı enerjinin bir kısmı dalgadan ayrılarak ısıya dönüşür. Sonuç olarak böyle bir ortamda yayılma esnasında dalganın genliğinde azalma gözlenir. Radyo dalgaları göz önüne alındığında manyetik alandan neredeyse söz edilmez [10,11].

1.5.2. Poynting Vektörü

Elektromanyetik dalgalar enerji taşırlar ve uzayda yayılırken karşılaştıkları cisimlere enerji aktarabilirler. Bir elektromanyetik dalgadaki enerji akış hızı poynting vektörü ile tanımlanır. Poynting vektörü “ $\vec{S}$ ” ile ifade edilir. Birimi $J/s.m^2$ ’dir.

Poynting vektörünün büyüklüğü, akış yönüne dik olan birim yüzeyden, enerjinin geçiş hızını ifade etmektedir. Bu nedenle poynting vektörünün büyüklüğü, birim yüzey başına gücü ifade eder. S vektörünün yönü, dalganın yayılma doğrultusu boyuncadır. Güç akı yoğunluğu olarak da ifade edilen Poynting vektörü, elektrik ve manyetik alan şiddetine bağlı olarak şu şekilde ifade edilir;

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} = E^2/377 \quad (16)$$

Yukarıdaki denklemde ifade edilen 377Ω skaler değeri boşluğun direnci olarak tanımlanır ve elektromanyetik dalganın boşlukta yayılmasına karşı gösterilen dirençtir. Bir başka deyişle dalga empedansı veya serbest uzay empedansı olarak adlandırılır. Dalga empedansı “ η ” ile gösterilir ve birimi ohm (Ω)’dur. Serbest uzayın bağıl manyetik geçirgenliği ve bağıl dielektrik katsayısı 1 olduğu için, dalga empedansı;

$$\eta = \eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 377\Omega \quad (17)$$

şeklinde ifade edilir.

Ayrıca Maxwell denklemlerinde kullanılan akım yoğunluğu, yük akışına dik birim yüzeyden birim zamanda geçen yük miktarıdır. Akım yoğunluğu “ J ” ile gösterilir. Birimi A/m^2 ’dir [3].

1.6. Elektromanyetik Dalga Polarizasyonu

Elektromanyetik dalgalar enine dalgalarlardır. Boyuna dalgaların tersine, enine dalgalarda titreşen elektrik ve manyetik alan vektörleri dalganın yayılma doğrultusuna diktir. Enine dalgaların bir özelliği de düzlemsel polarize olmalarıdır. Düzlem dalga yayılımında elektrik alanın bir noktadaki zamanla değişen davranışı polarizasyon olarak adlandırılır. Bir başka ifadeyle elektrik alan vektörünün zamanla çizdiği şekle dalga polarizasyonu denilmektedir. Eğer elektrik alanın yönü doğrusal (lineer) ise doğrusal polarizasyon, dairesel bir hareket yapıyorsa dairesel polarizasyon, eliptik bir hareket gösteriyorsa eliptik polarizasyon oluşur. Elektrik alan bileşeni yer düzlemine dik konumda olduğu zaman düşey polarizasyonlu, paralel konumda olduğu zaman ise yatay polarizasyonlu olarak adlandırılmaktadır. Vericinin fiziksel yapısına bağlı olarak ortama yayılan elektromanyetik dalganın oluşturulan polarizasyonu aynı şekilde alıcı anten tarafında da aynı olmalıdır [3].

1.7. Elektromanyetik Dalga Yayılımı

Elektromanyetik dalgalar ilerledikleri ortamda çeşitli engellerle karşılaşır. Bu engellere rağmen elektromanyetik dalgalar hareketlerine devam etme eğilimindedirler. Ancak elektromanyetik dalgalar bu engellerle etkileşmelerine göre durum değiştirirler. Bu engeller; yansıma, kırınım, kırılma ve saçılma. Bu engellerin gösterimi Şekil 1.2’de verilmiştir.

1.7.1. Yansıma (Reflection)

Işığın ayna yüzeyinden yansıdığı gibi elektromanyetik dalgalar da çeşitli maddelerden yansır. Yansımanın tam olduğu durumda elektrik alan şiddet değeri alıcı noktasında sönümlenme veya daha güçlü yayın elde edilmesine sebep olur.

1.7.2. Kırınım (Diffraction)

Elektromanyetik dalgalar ilerlerken herhangi bir madde ile karşılaştıklarında kırınıma uğrarlar. Dalga çeperi önünde bulunan engelden elektromanyetik dalga belli oranlarda güç kaybederek ilerler.

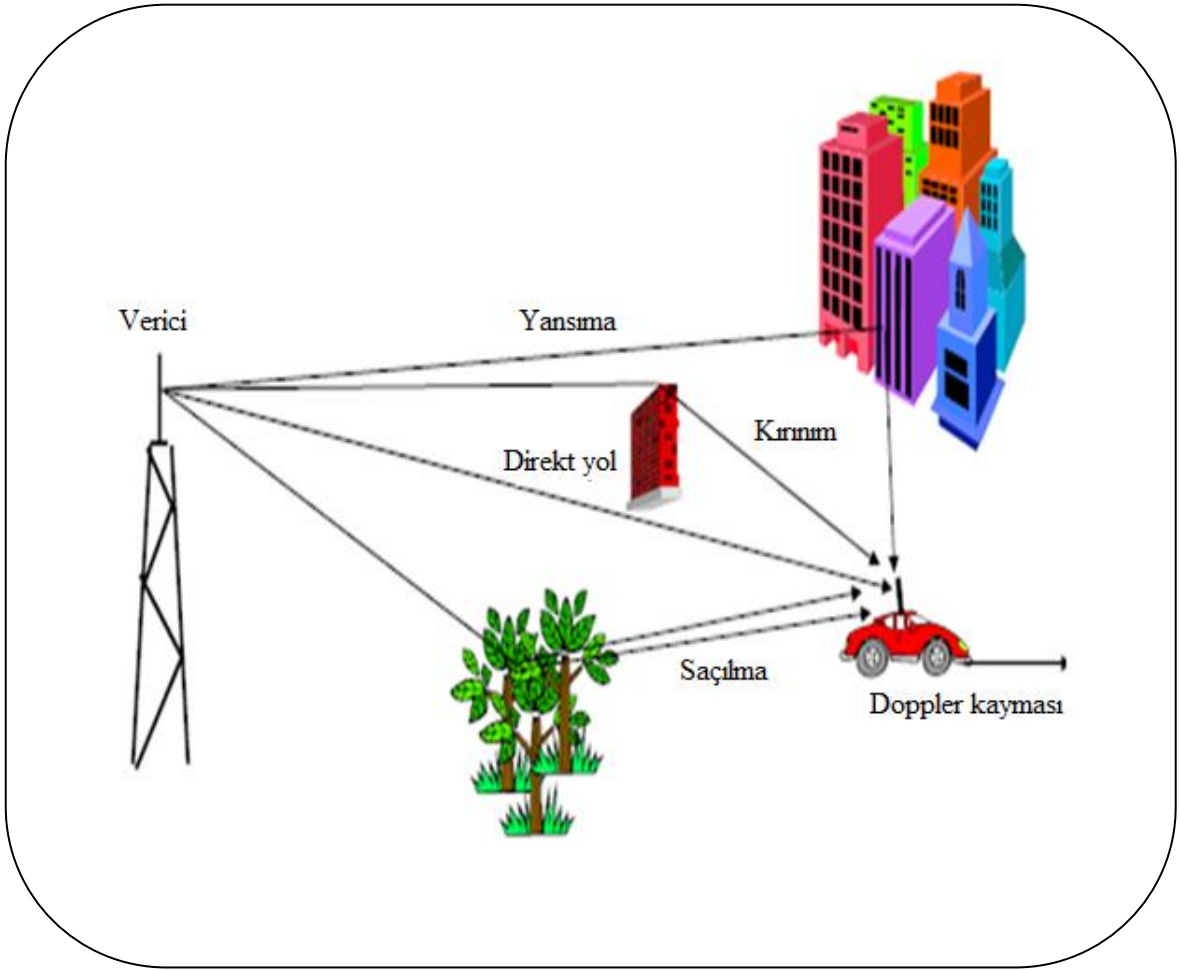
1.7.3. Kırılma (Refraction)

Elektromanyetik dalgalar, havanın yoğunluğuna bağlı olarak ilerleme yönünde yüzeye paralel olma eğilimindedir. Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama giren dalga ilerleme doğrultusundan uzaklaşır. Eğilme yüzeye tam paralel olduğunda dalga artık yatay polarize olmuştur. Düşük frekanslarda bu eğilme daha az olduğundan elektromanyetik dalga daha uzun yol alabilir.

1.7.4. Saçılma (Scattering)

İletişim ortamında bir alıcıya vericiden doğrudan gelen bileşen ile birlikte yansıma ve kırılma yoluyla oluşan bileşenlerde gelir. Saçılma ise belli bir vericiden gelen sinyalin çeşitli cisim ve yüzeylerden rastgele yönlere dağıtılmasıdır.

Ortamda çok sayıda ve rastgele konumlarda bulunan cisim ve yüzeylerden saçılan sinyal ortama yayınlandığında ortamda karmaşık bir yapıya neden olur. Bu durumda vericiden çıkan sinyal ile alıcıya ulaşan sinyal şiddeti arasında bu etkiden dolayı farklılıklar meydana gelir. Alınan sinyal, yansıma, kırınım ve saçılma etkileri ile tahmin edilenden daha güçlü ya da zayıf olabilir [5,6,7,12,13,14].



Şekil 1.2. Elektromanyetik dalga yayılımı gösterimi [13].

1.8. Antenler

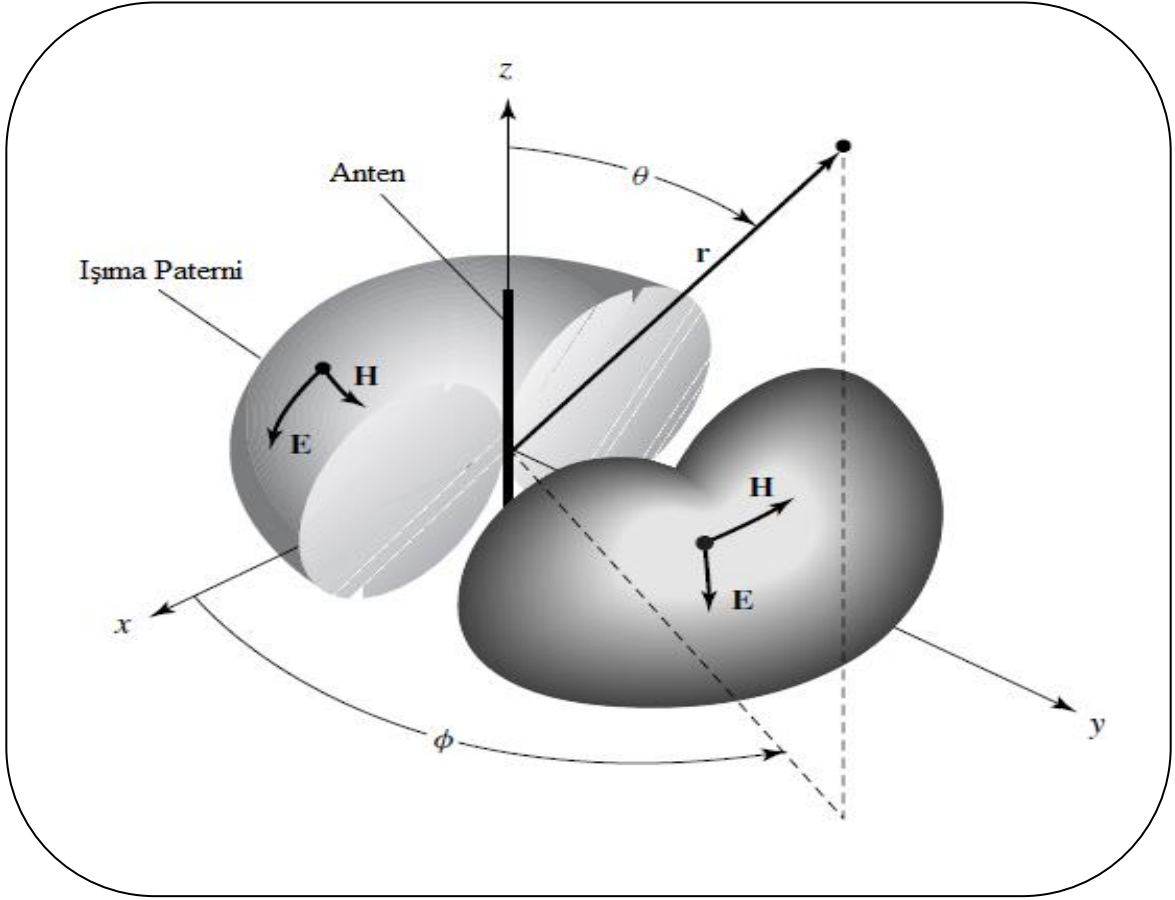
1.8.1. Giriş

Anten, elektrik sinyallerini (gerilim ve akım) elektromanyetik dalgalara veya elektromanyetik dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürerek göndermeye (verici anten) ve almaya (alıcı anten) yarayan pasif elemanlardır. Bir antenin başarımı için çeşitli parametrelerin tanımları gereklidir. Bu parametrelerin bazıları birbirleriyle ilişkilidir ve bu nedenle bir antenin toplam başarımının ifade edilebilmesi için parametrelerin tamamının belirtilmesi ihtiyacı yoktur.

Anten parametrelerinin tanımlanmasında IEEE Std. 145-1973 (IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas) standardının değişikliği yapılmış hali olan IEEE Std. 145-1983 standardı dikkate alınmıştır. Anten başarımı için gerekli olan anten parametreleri, ışıma paterni, alan bölgeleri, ışıma güç yoğunluğu, ışıma şiddeti, band genişliği, yönlendiricilik kazanç ve polarizasyon (kutuplanma) gibi parametreler temel anten parametreleridir [15].

1.8.2. Anten Işıma Paterni

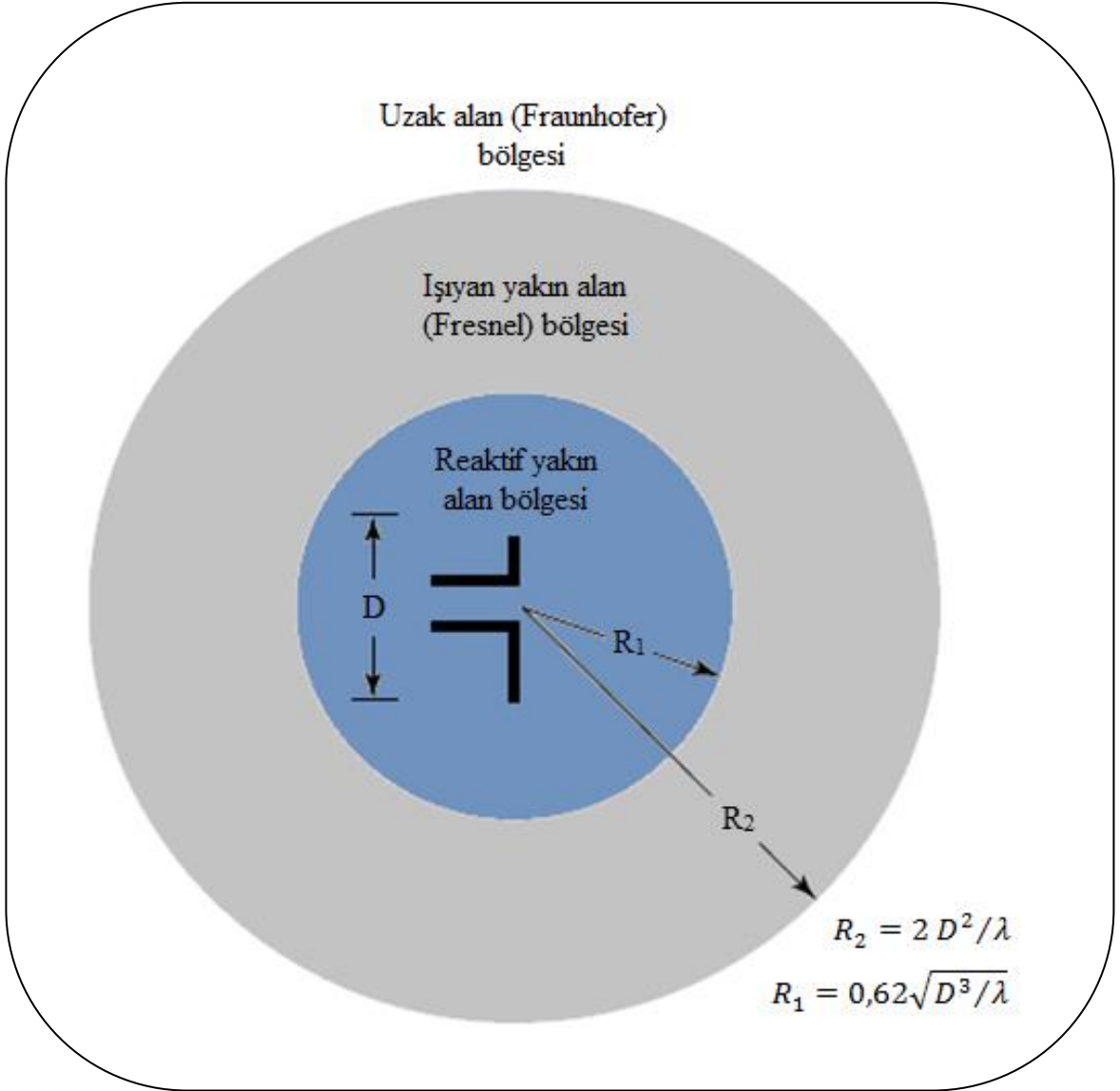
Doğrusal polarizasyonlu anten, genellikle antenin performansı açısından ele alınmaktadır. Doğrusal polarizasyonlu antenler elektrik alan ve manyetik alan düzlemi paternlerine sahiptirler. E düzlemi, elektrik alan vektörü ve ışıma doğrultusunu içeren düzlemdir. H düzlemi de manyetik alan vektörü ve ışıma doğrultusunu içeren düzlemdir. Şekil 1.3'te gösterilen ışıma paterni, yönsemez bir antene aittir [15]. Antenden r kadar uzaklıkta belirlenen bir nokta için anten merkezinden referans noktaya doğru oluşturulan doğrultunun z eksenine ile yaptığı açı θ , x - y düzlemi ile yaptığı açı ϕ olarak ifade edilmektedir. Paternin yönsemez olması, azimut düzleminde (x - y düzlemi, H düzlemi) yönsemez iken bu düzleme dik olan elevasyon düzleminde (x - z düzlemi, E düzlemi) yönlü bir özellik göstermesi demektir. Bir başka deyişle yönsemez anten, yönlü antenin özel bir halidir. Yönlü anten ise, diğer yönlerle göre belirlenmiş bir yönde daha etkin elektromanyetik dalga ışıması ve alımı yapan antendir [15].



Şekil 1.3. Yönsemeziz anten paterni gösterimi [15].

1.8.3. Antenin Alan Bölgeleri

Anteni çevreleyen boşluk, genellikle reaktif yakın alan, ışıyan yakın alan (Fresnel) ve uzak alan (Fraunhofer) olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Bu bölgelerin her biri alan yapısını tanımlamak için belirlenir. Bu bölgeler arasında belirgin farklılıklar vardır. Sınırları ayıran bu bölgeler benzersiz değildir. Bir antenin alan bölgeleri, aşağıda verilen Şekil 1.4'te gösterilmiştir [15]. Belirtilen sınırlar Şekil 1.4'te gösterildiği gibi kesin hatlarla birbirinden ayrılmamaktadır. Bölgelerin sınırları, dalga boyu " λ " ve maksimum anten boyu " D " ile orantılanarak R_1 ve R_2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1.4. Antenin alan bölgeleri gösterimi [15].

1.8.3.1. Reaktif Yakın Alan

Antenin bu bölgesi antenden hemen sonra başlar. Bu bölgede, anteni çevreleyen reaktif yakın alanı oluşturan elektrik ve manyetik alan, elektromanyetik ışıma yapmaktan çok bu enerjiyi depo eder. Reaktif yakın alan anten yüzeyinden $R < 0,62 \sqrt{D^3 / \lambda}$ mesafesinde kalan bölgeyi kapsamaktadır [15].

1.8.3.2. Işıyan Yakın Alan (Fresnel)

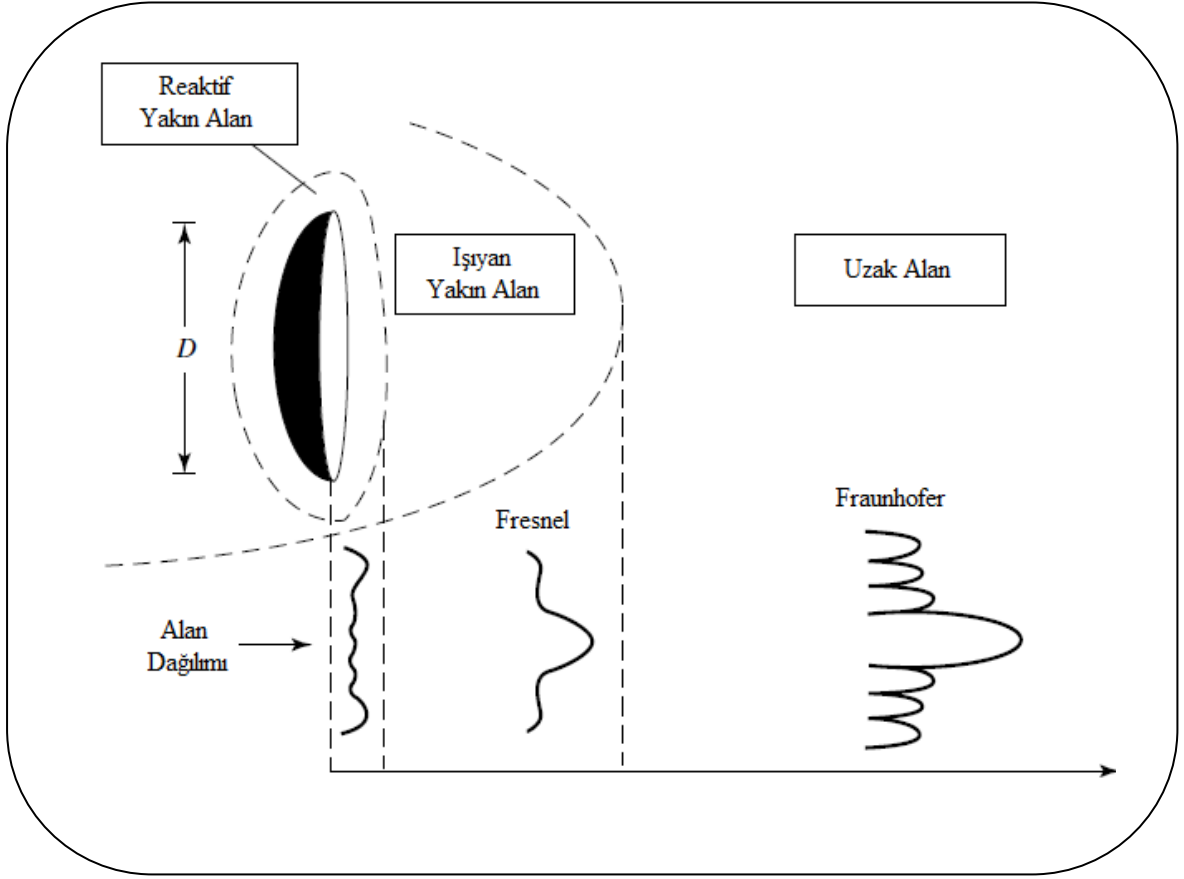
Reaktif yakın alan bölgesi ile uzak alan bölgesi arasında kalan bölge ışıyan yakın alan bölgesidir. Işıma yapan alanların baskın ve açısal alan dağılımının anten ile belirlenen bir nokta arasındaki mesafeye bağlı olduğu bölgedir. Sonsuza odaklı bir anten için ışıyan yakın alan bölgesi fresnel bölgesi şeklinde de ifade edilir. Işıyan yakın alan bölgesi sınırları iç sınır olarak kabul edilen radyal mesafe $R \geq 0,62\sqrt{D^3/\lambda}$ ile dış sınır olarak kabul edilen radyal mesafe $R < 2 D^2/\lambda$ arasında kalan bölgeye denir. “D” maksimum anten boyu, “ λ ” dalga boyu olarak ifade edilmektedir [15].

1.8.3.3. Uzak Alan (Fraunhofer)

Açısal alan dağılımının, temelde anten ile belirlenen bir nokta arasındaki mesafeden bağımsız olduğu bölge uzak alan bölgesidir. Uzak alan bölgesine Fraunhofer bölgesi de denir. Çok ışınlı yansıtıcı anten gibi bazı antenlerin uzak alan paterninin alan açıklıkları üzerinden faz değişimlerine karşı duyarlıdır. Uzak alan bölgesi iç sınırı olarak kabul edilen radyal mesafe $R = 2 D^2/\lambda$ 'dir. Dış sınır sonsuzdur. Kısaca Elektromanyetik dalganın, düzlem dalga özelliği gösterdiği ve antenden $R \geq 2 D^2/\lambda$ 'dan daha uzak olduğu mesafe de uzak alan olarak ifade edilir [15,16].

Bir antenin genlik paterni, reaktif yakın alandan uzak alan arasında mesafe değişimini gözlemler. Bir antenin genlik paterninin gösterimi Şekil 1.5'te gösterilmiştir.

Şekil 1.5'te görüldüğü gibi alan dağılımı reaktif yakın alanda eşit bir şekilde serilmiştir. Işıyan yakın alanda ise alan patern dağılımı pürüzsüz sayılır ve kulak oluşmaya başlamıştır. Uzak alan bölgesinde ise alan patern dağılımı iyi oluşmuştur. Uzak alan bölgesinde genellikle alan dağılımı birkaç küçük kulak ve bir veya birden fazla ana kulaktan oluşmuştur [15].



Şekil 1.5. Anten genlik paterni (reaktif yakın alandan uzak alana doğru) gösterimi [15].

1.8.4. Polarizasyon (Kutuplanma)

Belirlenen bir yön için antenin kutuplanması, antenden iletilen veya ışınlanan dalganın kutuplanması şeklinde ifade edilmektedir. Kutuplanma, eğer bir yön belirtilmiyorsa maksimum kazanç yönündeki kutuplanma olarak kabul edilir. Uygulamada ışınlanan enerjinin kutuplanması, anten merkezinden referans alınan yöne göre değişmektedir. Bir başka deyişle paternin farklı parçaları farklı kutuplanmalara sahip olabilir. Ayrıca alıcı antende kutuplanma; belirlenen bir yönde gelen ve bilinen bir güç akısı yoğunluğuna sahip düzlem dalganın, alıcı anten uçlarında oluşturacağı maksimum gücü ifade eder. Kutuplanma çeşitleri olarak; doğrusal, dairesel ve eliptik olmak üzere üç grupta sınıflandırılır [15,16].

Doğrusal kutuplanma; uzayda belirlenen bir nokta için elektrik alan veya manyetik alan vektörü zamanın her anında aynı düz çizgi merkezli ise zaman-harmonik dalga doğrusal kutuplu dalgadır.

Doğrusal kutuplanma için elektrik veya manyetik alan vektörleri;

- Sadece bir bileşen
- Aynı fazda ya da 180° (veya 180° 'nin katları) faz farklı iki dik doğrusal bileşen

verilen özelliklerinden birine sahip olması gerekir.

Ayrıca uygulamada doğrusal kutuplanma, elektrik alanının konumuna göre yatay dikey veya bu ikisi arasında herhangi bir açıda bulunabilir [15,17].

1.9. Elektromanyetik Girişim (EMI) ve Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)

1.9.1. Elektromanyetik Girişim (EMI)

Elektromanyetik girişim; bir cihaz ya da sistemden kaynaklanan ve başka bir cihaz ya da sistemin normal çalışmasına olumsuz yönde etkileyen elektromanyetik yayınımdır. Gerilimin var olduğu, elektrik akımının geçtiği her yerde elektromanyetik gürültü (interference, disturbance, noise) meydana gelir. Bu gürültü, hastanelerde kullanılan medikal cihazlarda olduğu gibi, radyo dalgalarının kullanıldığı cihazlar söz konusu olduğunda elektromanyetik gürültü daha yüksek olur ve daha fazla korunma önlemleri gerektirir. Bir elektromanyetik gürültü diğer elektronik cihazların çalışmasını engelleme riskiyle birlikte hastane içinde bulunan medikal cihazları etkilemekle kalmayıp insan sağlığı için büyük sorun teşkil etmektedir.

Radyo, TV gibi tek yönlü haberleşme sistemleri ile telefon, radar gibi iki yönlü sistemler haber işaretlerinin bir yerden bir başka yere elektromanyetik (EM) dalgalarla iletilmesi ile gerçekleşir. Haber taşıyan EM işaretlerin başka EM işaretlere karışmasına EM girişim (EMI, Electromagnetic Interference) adı verilir. Haber işaretine faydalı işaret, bozucu işarete ise istenmeyen işaret adı verilir. Ortama ve amaca göre; faydalı ve istenmeyen işaretler değişebilir. Örneğin bir telefon işareti abonenin kendisi için faydalı işaret, diğer abonelere göre istenmeyen işarettir. Benzer şekilde, bir radar işareti bir TV işareti için, bir TV işareti de bir radar için karşılıklı istenmeyen bozucu işaretlerdir.

Bozucu EM girişim işaretleri genliklerine (düşük ya da yüksek güçlü), frekansa (dar bantlı sinüzoidal ya da darbesel), oluşum sürelerine (anlık ya da sürekli), işaret şekillerine (analog ya da sayısal) göre sınıflandırılabilir. Doğal bozucu işaretler olabileceği gibi (güneş patlamaları, yıldırım düşmesi, kozmik dengesizlikler) insanın neden olduğu yapay bozucu işaretler de (araç motorları, TV vericileri, enerji hatları, elektrik makineleri,

aydınlatma lambaları, endüstriyel uygulamalar) olabilir. Elektromanyetik girişim kaynakları aynı zamanda elektromanyetik dalga kaynaklarıdır (Tablo 1.2).

Bir başka deyişle boş alanda yayılan veya güç ya da sinyal kablolarıyla iletilen, telsiz navigasyon sistemlerinin veya başka güvenlik hizmetlerinin çalışmasını tehlikeye atan veya lisanslı telsiz iletişim hizmetini ciddi ölçüde kötüleştiren, engelleyen veya art arda kesintiye uğratan her türlü sinyal veya emisyonudur. Radyo veya telsiz iletişim servisleri, ticari AM/FM yayınları, televizyon, hücresel servisler, radar, hava trafik kontrolü, çağrı ve kişisel iletişim servislerini içerir ancak bunlarla sınırlı değildir.

Bu lisanslı telsiz hizmetleri ve lisanssız telsiz hizmetleri (Bluetooth ve WLAN) ve bunların yanı sıra bilgisayarlar da dâhil olmak üzere dijital cihazlar gibi kasıtsız radyo dalgası yayıcıları elektromanyetik ortama katkıda bulunur.

Hastane ortamında elektromanyetik girişim önemlidir. Çünkü girişim kaynağı olan bir cihazın bir diğer cihazı etkilediği (cihaz-cihaz etkileşimi) gibi, cihaz-canlı (doku) etkileşimi de insan sağlığı açısından da büyük sorun teşkil etmektedir. Hastanelerde kullanılan medikal cihazlar (NST, Röntgen, MR, v.d.) ve elektronik cihazların (bilgisayarlar, Tv, cep telefonları, güç kaynakları, v.d.) çok olmasından dolayı hastane ortamında oluşturdukları elektromanyetik alandan dolayı insan sağlığı açısından da büyük sorun teşkil etmektedir.

Elektromanyetik girişim olayları örneklerle açıklanacak olursa;

- Cep telefonu çaldığında veya floresan lamba açıldığında bilgisayar ekranının titremesi
- Hava alanındaki radar sistemlerinin taşınabilir bilgisayarların ekranını bozması
- Uçakta çalıştırılan taşınabilir bir bilgisayarın ve çalan cep telefonunun uçuş kontrol sistemini bozarak uçuş güvenliğini tehdit etmesi
- Yüksek Gerilim Hatları (YGH)'nın altından geçerken arabanın radyosunun parazit yapması
- Radyo istasyonunun çok yakınından geçen bir helikopterde kontrollerin aniden yok olması
- Ambulansta telsiz veya cep telefonu kullanırken kalp pilinin etkilenmesi
- Telsizlerin hastanelerde diğer medikal cihazlarla etkileşmesi

v.b. gibi olaylarla açıklanabilir.

Bütün bu etkileşimler, EM girişim olarak bilinen, günlük yaşantımızda ortaya çıkan ve zaman zaman çok tehlikeli olabilen etkileşimlerdir [18,19,20,21].

1.9.2. Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)

Elektromanyetik uyumluluk bir sistem veya cihazın içinde bulunduğu elektromanyetik ortamda fonksiyonlarını giderilemeyecek bir elektromanyetik bozulma olmaksızın yerine getirebilme yeteneği şeklinde tanımlanır. Yani, bir cihaz çevresindeki diğer cihazları etkileyecek istenmeyen elektromanyetik işaretler yaymayacak, aynı zamanda diğer cihazların yaydığı istenmeyen işaretlerden de etkilenmeyecek olmasıdır.

Elektronik sistemlerin öngörülen bir elektromanyetik ortamda, amaçlanan verimlilikle çalışabilmeleri ve işlevlerini yerine getirebilmeleri olarak da tanımlanır. Elektronik cihazların elektronik ortamda düzgün bir şekilde bir arada çalışması şeklinde de ifade edilebilir. Bir arada çalışmak zorunda olan cihazların iki temel parametresi söz konusu işaret gücü ve işaret frekansıdır. Bu parametreler söz konusu olduğunda da şu iki temel EMC kuralı geçerli olmaktadır.

- Aynı frekans bölgesini kullanan iki cihazın birbirini etkilememesi için bu iki cihazın işaret güçlerinin yeterince zayıflamasını sağlayacak uzaklıkta tutulmalıdır.
- Birbirine yakın çalışmak zorunda olan yani aynı ortamda çalışmak zorunda olan iki cihazın karşılıklı birbirinden etkilenmemesi için farklı frekans bölgelerinde çalışmaları gerekmektedir.

Elektromanyetik uyumluluğun olmadığı yerlerde çıkan sorunlardan bazıları örnek olarak verilirse;

1967’de ABD hava sahasında 27 uçak hasar gördü, 134 kişi öldü ve 72 Milyon USD zarar meydana gelmiştir.

Almanya’da otoyol yakınında bulunan 100 kW gücünde ve 1.5 MHz frekansında çalışan, 250-300 V/m’lik alan oluşturan bir AM radyo istasyonunun yakınından geçen Elektronik ateşlemeli ve enjeksiyonlu modern araçların arızalandıkları görülmüştür.

Tokyo’daki bir fabrikada elektromanyetik dalgalar robotlarda fonksiyon bozukluğu oluşturduğundan 10 kişinin ölümüne neden olmuştur. Buna benzer birçok insan ölümlerine varan olaylardan kurtulmak için EMC gereklidir [18,19,20,21].

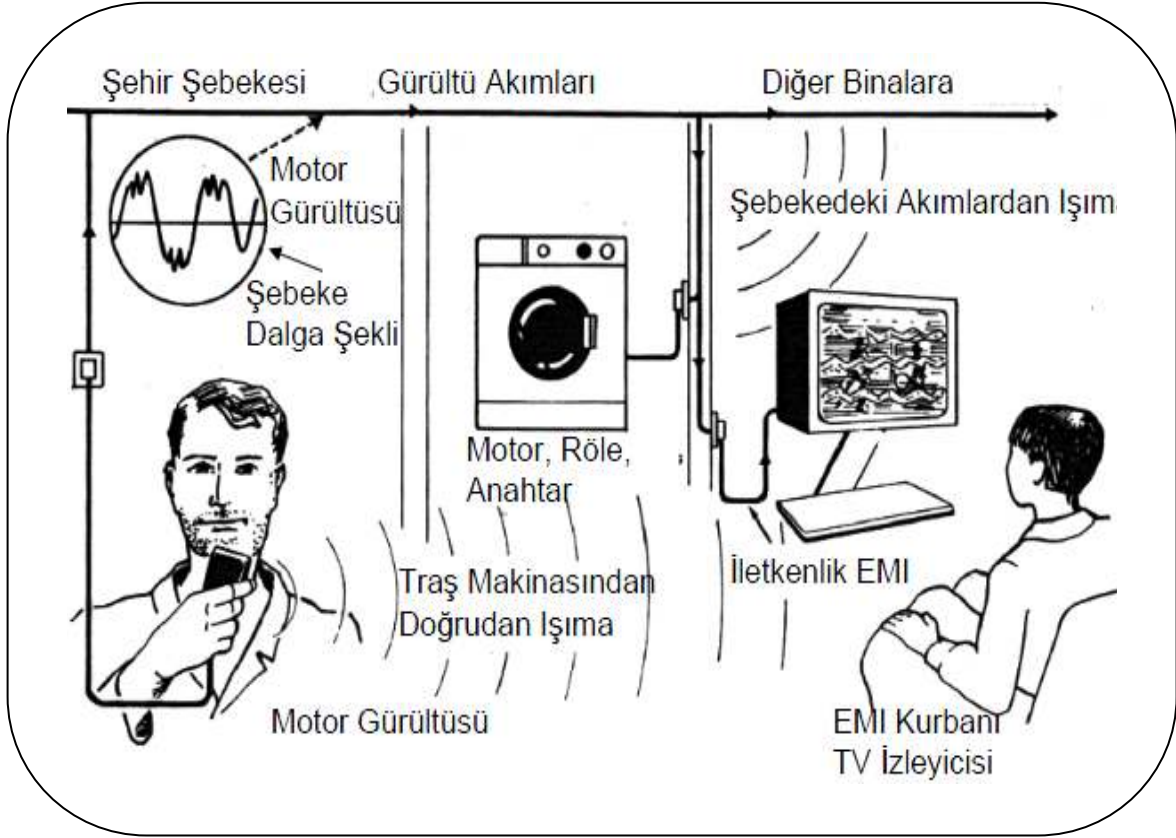
1.9.3. EMI ve EMC Problemleri

Elektromanyetik girişim probleminde genelleştirme yapılırsa elektromanyetik girişim kaynağı, girişimden etkilenen madde (cihaz-canlı doku) ve kaynak ile girişimden etkilenen madde arasındaki iletim (ya da kuplaj ortamı) bulunur. Örneğin, bir bilgisayar EM girişim kaynağı, yakınındaki bir TV ise girişim kaynağından etkilenen cihaz olabilir. Girişim kaynağı ile girişimden etkilenen cihaz arasında iki önemli girişim/kuplaj yolu söz konusudur. Bunlar şebeke üzerinden birbirine ulaşabilen besleme iletkenleri, diğeri ise bağlantı olmadan direkt atmosfer yoluyla oluşan EM dalgalar (ışınım) şeklinde olur. Elektromanyetik girişimin ortadan kaldırılması için yapılması gerekenler;

- Girişim kaynağı yok edilebilir. Yani, girişimin nedeni bulunup ortadan kaldırılabilir. Örneğin, girişime neden olan bir disket sürücüsü, bilgisayar içerisinde kötü tasarlanmış bir kart olabilir. Kabloların gereksiz yere uzun tutulması, ya da iyi döşenmemiş olması da girişim kaynağı olarak etki yapar. Elektromanyetik sızıntının kaynaklandığı yer saptanarak girişim, uygun karşı önlemlerle yok edilebilir.
- Etkilenen cihaz sağlamlaştırılabilir. Birçok elektriksel cihaz artık bir arada yaşamak zorunda olduğundan istenmeyen bozucu işaretlere karşı daha dayanıklı cihazlar geliştirilebilir, öyle ki, bozucu işaretlerin olması, cihazdan istenen işlevin gerçekleşmesine engel oluşturmaz.
- Girişim yolları ortadan kaldırılabilir, yani kaynak ile etkilenen cihaz arasındaki girişim kuplajı engellenebilir. Bu amaçla EM işaretleri yutan, engelleyen düzenlerden yararlanılabilir. Örneğin, iletkenlik yollu girişimde ferrit filtrelerle bozucu işaretler süzülebilir ya da ışıyım yollu girişimin önü ekranlama duvarları ile kesilebilir.

EM girişim etkileri çok farklı olabilir. Bu etki TV’de seyircinin göz zevkini bozan hafif bir karlanma olabileceği gibi, tamamen TV’nin çalışamaz duruma gelmesi şeklinde de ortaya çıkabilir. Bunun ötesinde, bir araç ABS fren sistemini kilitleyerek kazalara neden olabilir. Hatta nükleer bir silahın elektronik ateşleme sistemini kazara harekete geçirip bir felakete yol açabilir. EM girişimin cihaz-cihaz etkileri yanında cihaz-canlı doku (insan) etkileri de vardır. İnsan sağlığını tehdit eden bu etkiler, kansere yol açabilen, uykusuzluk, baş ağrısı, mide bulantısına v.b. etkileri olabilmektedir [18,19,20,21].

Günlük yaşantımızda ve çevremizde bulunan kaynakların elektromanyetik girişim ve elektromanyetik uyumluluk problemleri Şekil 1.6'da gösterilmiştir.

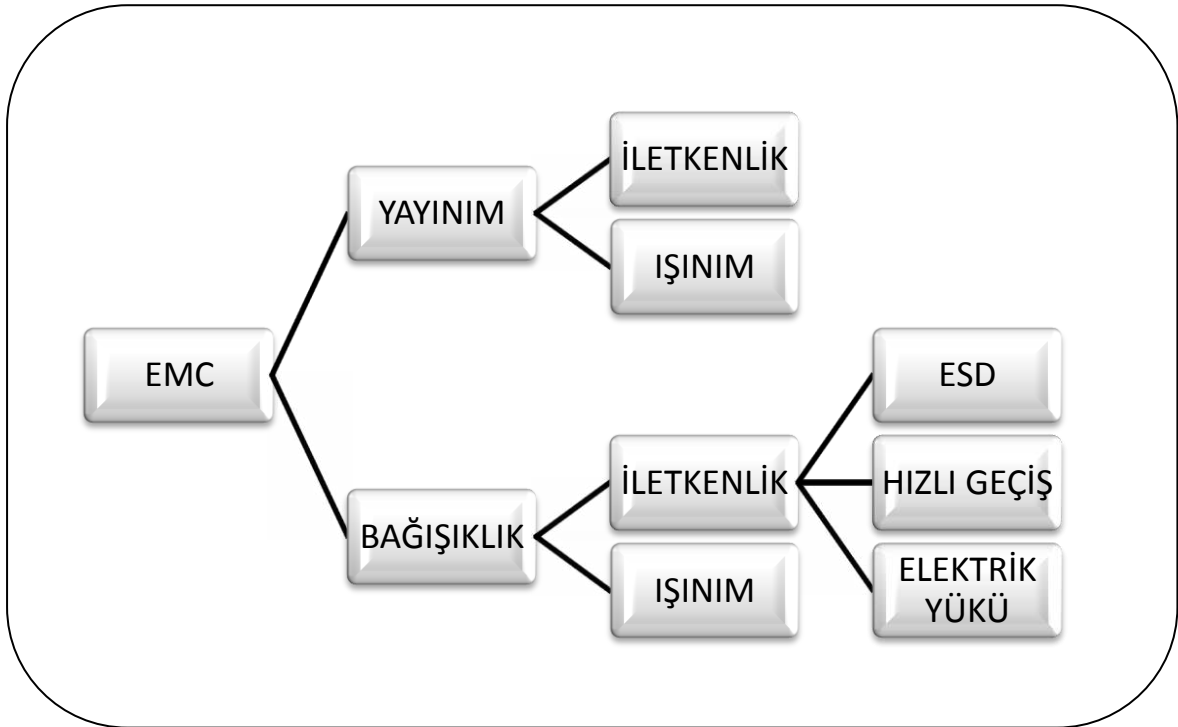


Şekil 1.6. Tipik EMC ve EMI problemleri [19].

EM girişim problemlerinin çoğu işaret taşıyan (iletken tel, toprak levhası, ekran kutusu gibi) elemanların belli koşullarda EM sızıntıya neden olmasından kaynaklanmaktadır. Sorun her elemanın (koşullar uygun olduğunda) anten gibi davranabilmesidir. Hangi eleman niçin ve ne zaman anten gibi davranır sorusu yanıtlanmadan EM girişim problemlerini çözmek çok zordur. Anten bir dönüştürücü olduğundan besleme noktalarına uygulanan Volt büyüklüğündeki gerilimi Volt/metre büyüklüğündeki elektrik alana dönüştürür. Buna verici anten denir. Antenler resiprok elemanlar olduğundan yani verici anten aynı zamanda alıcı anten gibi de kullanılabilir. O halde belli bir ortamda bulunan elektromanyetik dalgalardan kaptığı Volt/metre büyüklüğündeki elektrik alanı Volt büyüklüğünde bir gerilim farkına dönüştürür.

Bütün EMC problemlerinin ardında iki temel elektriksel kaynak söz konusudur. Bunlar elektrik dipolü ve manyetik dipolüdür. Elektrik dipolü birbirine çok yakın iki zıt yük (ya da eşdeğer olarak içinden akım akan çok küçük doğrusal bir iletken) ile oluşur. Elektrik dipolü üzerinden akım akan bir iletkenin başka bir şey değildir. Manyetik dipol ise üzerinden akım geçen halka şeklinde bir iletkenidir. Örneğin, iki iletkenli bir hat parçası sonu açık devre iken elektrik, kısa devre iken manyetik dipol gibi davranır. Her iki dipolün de ışıma paternleri frekansa göre değişir. Her iki dipolün de etrafında elektromanyetik alanlar oluşturur. Elektrik dipolünün yakın civarındaki elektromanyetik alanların baskın bileşeni elektrik alanıdır. Elektrik alanın manyetik alana göre şiddeti çok daha yüksektir.

Bir EM girişim problemlerinde girişim kaynağının elektrik veya manyetik dipol gibi davranmasının belirlenmesi önemlidir. Hemen bütün istenmeyen EM sızıntılar ya elektriksel dipol gibi ya da manyetik dipol gibi davranan bir elemandan kaynaklanmaktadır. İstenmeyen EMI kaynağının elektrik dipol mü yoksa manyetik dipol mü olduğu EM uyumluluk önlemleri açısından da belirleyicidir. Her iki dipolün de ışıma karakteristikleri frekansla değişmektedir. Frekans arttıkça ışımanın minimum ve maksimumları (kulakçık sayıları) artar ve yön değiştirebilir. Bu nedenle, yüksek frekanslarda hemen her yönde istenmeyen ışıma söz konusu olabilir [18,19,20].



Şekil 1.7. EMC probleminin genel görüntüsü

Bir EMC probleminin temel unsurları Şekil 1.7’de gösterilmiştir. Yayınım (EM Emission) ve bağışıklık (EM Immunity) başlıklarıyla verilenler girişim kaynağı ya da girişim kaynağından etkilenen madde (cihaz-doku) olmasına göre değişir. Girişim kaynağının iki tür yayınımı söz konusudur; iletkenlik yollu yayınım ve ışıyım yollu yayılım şeklindedir. Yine girişimden etkilenen madde için bağışıklık iki yollu olabilir; iletkenlik yollu girişime karşı bağışıklık ve ışıyım yollu girişime karşı bağışıklık şeklinde olmaktadır. Bağışıklığın tersi alınganlık (susceptibility) da EMC tanımlarında yer almaktadır. Bir cihazın bağışıklığı ne kadar yüksek ise alınganlığı o kadar düşüktür, ya da tersine bir cihaz ne kadar alıngan ise o kadar düşük bağışıklık seviyelerine sahiptir.

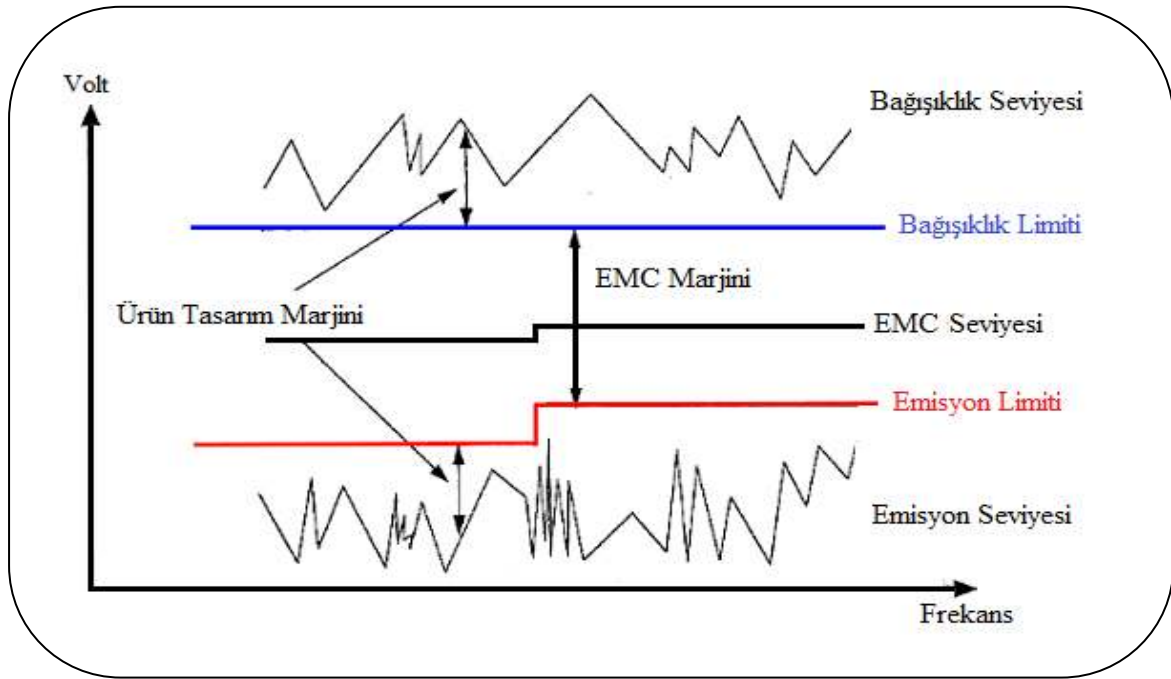
Uygulamada iletkenlik yollu girişim ile ışıyım yollu girişim için 30 MHz frekansı sınır olarak kabul edilir. Test ve ölçüler, genelde, iletkenlik yollu girişim için doğru akımdan 30 MHz frekansa kadar, ışıyım yollu girişim için ise 30 MHz ve üzerinde yapılır. Kablolar, metal gövdeler gibi yapılar üzerinden gelen iletkenlik yollu girişim işaretleri 30 MHz frekansının üstünde hızlı olarak söner. Bu frekansın üzerinde ise elektriksel işaret ileten her iletken, kablo, levha birer anten gibi davranır; iletimin ötesinde elektromanyetik ışıma yapar.

Benzer tanımlama bağışıklık için de söz konusudur. 30 MHz frekansının altında iletkenlik yollu girişimlere karşı bağışıklık, 30 MHz frekansının üstünde ise ışıyım yollu girişimlere karşı bağışıklık istenir. Şekil 1.8’de iletkenlik yollu girişimlere karşı bağışıklığın farklı durumları gösterilmiştir. ESD (elektrostatik deşarj) statik yük birikimi ve ani yük boşalmasını göstermektedir.

Gündelik yaşamımızda, özellikle sentetik ortamlarda buzdolabının ya da arabanın kapısını açarken statik yük boşalmasını hepimiz yaşamışızdır. Yapılan araştırmalara göre, özellikle kuru havada ve sentetik bir halı üzerinde 8-10 adım yürümenin bile 10kV-15kV değerinde bir statik yüklenmeye sebep olabileceği gözlemlenmiştir. Bu sebeple yüksek elektrik yükü özellikle parmak ucu sivri noktaların metal nesnelere yaklaştırılması ile aniden boşalabilmektedir. Diğer bağışıklık alt başlıkları da darbesel işaretlere ve yüksek değerli akım ya da gerilimlere karşı dayanıklı olmak anlamına gelmektedir.

EMC yayınım ve bağışıklık cihaz-cihaz etkileşimlerinde söz konusudur. Bu durum bozucu işaretlerin şiddeti kadar frekansıya da ilgilidir. Şekil 1.8’de EM limitleri ve yayınım ve bağışıklığın test edilmesi örneği gösterilmiştir. Şekil 1.8’de görüldüğü gibi altta kesikli çizgi ile belli bir cihaz için yayınım (emisyon) üst sınırının frekansla değişimi gösterilmiştir. Üstte ise sürekli çizgi ile bağışıklığın alt sınırının frekansla değişimi

gösterilmiştir. Zikzak şeklindeki grafikler ise ölçülen yayılım seviyeleri ile test edilen bağışıklık seviyelerini göstermektedir. Belli bir frekansta aradaki farklar ise o ürünün tasarım güvenlik payını vermektedir. Güvenlik payı ne kadar yüksek ise cihaz o kadar az istenmeyen sızıntıya neden olmaktadır ve o kadar yüksek bağışıklık seviyesine sahiptir. Genellikle EMC yayılım limitleri birkaç $\mu\text{V}/\text{m}$ 'ler ya da μV 'lar mertebesinde iken bağışıklık limitleri genelde kV/m 'ler ya da kV 'lar mertebesinde olur [18,19,20,21].



Şekil 1.8. EMC sızıntı ve bağışıklık limitleri gösterimi [19].

EM girişim kaynağı, girişimden etkilenen madde ve kaynak ile madde arasındaki girişim yoludur. Özel durumlarda madde canlı ise EM etkileşim kaynak ile canlı doku arasında gerçekleşir. Bu etkileşim ile ilgilenen dala da Biyoelektromanyetik (BEM) adı verilmiştir. BEM mühendisliğinin amacı, EM enerjinin canlı dokularda oluşturduğu hasarları inceleyip en aza indirmektir [8,13,22,23].

İnsan sağlığı ile ilgili EM limitleri belirleyen uluslararası kuruluşlardan önemli olan ikisi International Non-Ionising Radiation Committee (INIRC) ve International Radiation Protection Association (IRPA)'dır. Bu kuruluşların belirlediği temel limitler ve türetilmiş limitler olmak üzere iki tip limit vardır [22]. Temel limit olarak “ortalama insanda vücut sıcaklığını 1°C arttıracak EM enerji soğurulmasının zararlı olduğu” düşüncesinden yola çıkılmıştır [24,25,26].

Bunun sonucu ortalama kan dolaşımında 4 W/kg değeri bulunmuştur. Yani, kilogram başına dokuların yutabileceği en yüksek güç 4 W'dır. İş yerleri için 10 kat, genel ve meskûn yerler için 50 kat güvenlik payları alınarak temel limitler fabrika, atölye gibi iş yerleri için 0.4 W/kg SAR genel yerler için 0.08 W/kg SAR olarak belirlenmişlerdir. Burada SAR, özgül soğurma oranı (Specific Absorption Rate) olarak kullanılmaktadır. Yani bu limitler sadece dokularda tutulan ve ısıya dönüşen güç ile ilgilidir. Fizyolojik, kimyasal, biyolojik hatta psikolojik etkileri göz önüne almamaktadır [24,25].

Temel limitlerden yola çıkarak türetilen limitler ise frekansa göre ortamdaki en yüksek alan şiddetini belirlemektedir. İnsan vücudu yüksek frekans alanlarına duyarlıdır. Vücut tarafından soğurulan enerji ısıya dönüşür. Yüksek frekans alan tüm vücut veya belli bir bölgede ısı oluşur. Isı içerde oluştuğu için ısı algılayıcı olan deri tarafından algılanmaz. Bu yüzden vücut sıcaklığı kontrol sistemi etkilenir. Bu etki frekansa bağlıdır. Bu zararlı etkileri azaltmak için EMR'nin belirli bir değerde olması için standartlar getirilmiştir. EMR canlıya ulaştığında bu canlı tarafından soğurulmaktadır [13,22,23].

Özgül soğurma hızı, EM dalgalarının vücut tarafından soğurulma hızıdır. Birimi W/kg'dır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda insan vücudunun 1°C sıcaklık artışını düzenleyemediğini ve bazı sorunlar yarattığını göstermiştir. Özgül soğurulma hızının doğrudan ölçülmesi hemen hemen imkânsızdır. Bu yüzden sınır değeri belirlenmesinde kolay ölçülebilen veya gözlemlenebilen parametreler kullanılır. Bu parametreler elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğudur. Bir noktadaki EM enerji miktarı, kaynağından olan uzaklığa, kaynağın çıkış gücüne ve yayılım ortamına bağlıdır [2,7].

Dokularda soğurulmaya neden olan parametre dokunun iletkenliğidir ve " σ " ile gösterilir. Birimi S/m'dir. Elektrik alan şiddeti olan bir ortamda iletkenliği σ , yoğunluğu ρ (kg/m³) olan ve V hacmine sahip dokuda yutulan SAR değeri aşağıda verilen denklemdeki gibi hesaplanmaktadır [12,14]. Birimi W/kg'dır.

$$SAR = \iiint_V \frac{\sigma E^2}{\rho} dV \quad (18)$$

Görüldüğü gibi, SAR değerinin bulunması için dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin ölçülmesi gerekir. Oysa canlılarda bu ancak tıbbi deneklerle yapılmaktadır. Bu nedenle SAR ölçülmesi ya insanın EM özelliklerine yakın olan tuzlu su ya da değişik

kimyasal jellerden yapılmış robotlar üzerinde yapılır, ya da bu amaçla güçlü sayısal teknikler kullanılarak bilgisayar simülasyonlarından yararlanılmaktadır.

BEM limitleri tartışmalıdır. Yukarıda belirtildiği gibi sadece dokulardaki ısı etkileri göz önüne alınır. Aslında ısı etkilerden yani SAR değerinden başka bir parametreyi belirlemekte mümkün değildir. INIRC ve IRPA uluslararası kuruluşları ise ısı etki cinsinden limitlerin ölçümünün yeterli olacağını belirtmişlerdir [24,25].

Elektromanyetik dalga yayan tüm sistemlerin üretim ve kurulum aşamasından itibaren insan sağlığı üzerindeki etkileri göz önüne alınmalıdır. İnsan vücudunda serbest yükler, çevresindeki elektrik alandan etkilenir. Ayrıca manyetik alan, bir iletken olarak düşünülebilecek insan bedeninde zayıf akımlar oluşturur. Elektromanyetik dalga insan vücuduna çarptığında bir kısmı yansır, bir kısmı ise vücut içine girerek soğurulur. Elektromanyetik dalganın canlıda soğurulması, doku ısınmasına ve dolayısıyla dokularda bozulmalara sebep olur. Bu tür etkilerden korunmak için belirlenen güvenlik mesafesi ve sınır değerlere uyulması gerekmektedir. Çünkü elektromanyetik alanların şiddeti yüksek frekanslı alanlar için $1/r^3$, düşük frekanslı alanlar için elektromanyetik alan şiddeti $1/r^2$ olacak şekilde kaynaktan uzaklaştıkça zayıflar [27].

Bu amaçla elektromanyetik alan etkileri için ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından birçok standart değerler belirlenmiştir. Ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşlar; Uluslararası düzeyde yapılan çalışmalar ışığında, etkili olan elektromanyetik alanlar ve etki düzeyleri ile ilgili limit değerler yayınlanmaktadır. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından 16.05.2009 tarih ve 27230 sayılı Resmi Gazete’de “10kHz-60GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkındaki Yönetmelik” yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğin hazırlanma safhasında ilgili kamu kuruluşları ve üniversitelerin yanında kamu oyununda görüşleri alınarak koordine edilmiş ve elektromanyetik kirliliğin insan yaşamındaki etkilerinin en aza indirilmesi için gerekli teknik ve idari düzenlemeler yapılmıştır. Sabit telekomünikasyon cihazlarının (TV/Radyo ve baz istasyonları) söz konusu yönetmelikte belirtilen bütün teknik kıstaslar ve limit değerlere uygun olarak “Güvenlik Sertifikası” alınması suretiyle kurulması prosedürü geliştirilmiş ve uygulanmaya konulmuştur [27].

Yönetmelikte belirlenen güvenlik mesafesi aşağıda verilen denklem ile belirlenmektedir.

$$d = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot 10^{G/10}}}{E} \quad (19)$$

Bu formülde;

P: Cihaz çıkış gücünü (Watt)

G: Anten kazancını (dB)

E: Elektrik alan limit değerini (Volt/metre)

d: Güvenlik mesafesini (metre)

ifade etmektedir [28].

1.10. Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerleri

Elektromanyetik kirliliğin insan yaşamındaki etkilerinin en aza indirilmesi için; Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurulunca gerekli teknik ve idari çalışmalar yapılmış; yönetmeliğin hazırlanması safhasında, Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) limitleri dikkate alınmıştır.

Meskûn mahal ortamında; elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti, manyetik akı yoğunluğu ve eş düzlem dalga güç yoğunluğu, toplam limit değerleri Tablo 1.3'te ve tek bir cihaz için limit değeri Tablo 1.4'te belirtilen limit değerleri aşmayacaktır [28,29].

Ayrıca okul öncesi ve temel eğitim kuruluşlarının bahçe sınırları dâhilinde bu maddede belirtilen limit değerler aşılmayacaktır.

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından yayınlanan, 10kHz-60GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkındaki Yönetmeliğin 21. Maddesinde yer alan sabit telekomünikasyon cihazlarının teşhis ve tedavi hizmetleri yürütülen sağlık kuruluşları (hastane, sağlık ocağı v.b.) civarında kurulması halinde sağlık kuruluşlarındaki tıbbi cihazları etkilememesi bakımından, bina içinde oluşturacağı ortamın toplam elektrik alan şiddet limit değeri 3 V/m'dir [28].

Tablo 1.3. Ortam için belirlenen limit değerler

Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)	Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu (W/m²)
0.010 – 0.15	87	5	6.25	–
0.15 – 1	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	–
1 – 10	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	–
10 – 400	28	0.073	0.092	2
400 – 2000	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2000 – 60000	61	0.16	0.2	10

Tablo 1.4. Tek bir cihaz için belirlenen limit değerler

Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)	Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu (W/m²)
0.010 – 0.15	22	1.3	1.5	–
0.15 – 1	22	0.18 / f	0.23 / f	–
1 – 10	$22 / f^{1/2}$	0.18 / f	0.23 / f	–
10 – 400	7	0.02	0.023	0.125
400 – 2000	$0.341 f^{1/2}$	$0.0009 f^{1/2}$	$0.001 f^{1/2}$	f / 3200
2000 – 60000	15	0.04	0.05	0.625

1.11. Elektromanyetik Alanın Biyolojik Etkileri

Öncelikle biyolojik etki ile yan etki arasındaki farkı anlamak önemlidir. Biyolojik etki, sistemde EMD'ye maruziyet sonucunda ölçülebilir ya da dikkate değer fiziksel değişiklikler olduğunda ortaya çıkar. Yan etki ise biyolojik etkinin vücudun tolere etme sınırlarının dışına çıktığında oluşur ve sonuçta zararlı etkilere yol açar. EMA'nın iki tür etkisi vardır. Birinci kısım; Kısa zamanda hissedilen etkiler diyebileceğimiz baş ağrıları, göz yanmaları, yorgunluk, halsizlik ve baş dönmeleri gibi şikâyetlerdir. Ayrıca gece uykusuzlukları, gündüz uykulu dolaşım, küskünlük ve sürekli rahatsızlık nedeniyle topluma katılmamak gibi neticeler de literatürde rapor edilmiştir. Diğer bir etki ise; Moleküler ve kimyasal bağlara, hücre yapısına, vücut koruma sistemine yaptığı ve uzun sürede ortaya çıkabilen etkilerdir.

EMA'nın kansere yol açıcı bir faktör olduğu %100 henüz kesin olarak ispat edilememiş olmasına rağmen hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalardan yorumlar yapılmaktadır. Kanseri artırıcı etkisi mevcuttur. Etkilerinin oluşması EMA'nın frekansına, şiddetine, vücut ölçülerine, vücudun elektriksel özelliklerine, EMA'nın mesafesine ve en önemlisi etki süresine bağlıdır. Zayıf manyetik alanın insan sağlığına zararlı olup olmadığı hala tartışılmaktadır. Bu zayıf alanların hemen gözle görülebilecek bir zararları yoktur. Fakat hayvan hücresi üzerinde yapılan deneylerde zayıf manyetik alanın hormon ve enzim seviyesini değiştirmek, dokulardaki kimyasalların hareketini engelleme gibi biyolojik etkenlere sebep olduğu kararına varılmıştır [30,31,32,33,34,35].

RF dalgalarının oluşturduğu biyolojik etkilerin canlı organizma üstünde güvenilir bir sınırdan kalması için, insan hücre ve dokularını temsil eden matematiksel modeller ile çalışmalar yapılmaktadır. RF dalgalarının bilinen potansiyel biyolojik etkileri şu başlıklar altında toplanabilir.

- Tek bir hücre veya hücre sistemlerine etkileri
- Moleküler etkileri
- Hücre içi sistemler üzerine etkileri
- Genetik düzen ve gelişme üzerine etkileri
- Genetik ve mutajenik etkileri
- Teratolojik etkileri
- Büyüme ve gelişme etkileri
- Gelişmiş organ, doku veya hücre sistemleri üzerine etkileri

- Testisler üzerine etkileri
- Kardiyak fonksiyona etkileri
- Sinir sistemi ve davranış nöroendokrinolojik tepkiler üzerine etkileri
- Hematolojik etkileri
- İmmünolojik etkiler; metabolizma ve düzenleme sistemleri üzerine etkileri

Son yıllarda büyük çapta araştırmalar yapılmasına neden olan bir etki ise kuvvetli manyetik alan kaynağından doğan hastalıklardır. Yapılan araştırmalara göre yüksek gerilim hatlarının çocuklarda lösemi ya da beyin kanseri yaptığı yönünde çeşitli çalışmalar mevcuttur [13,22,23,36,37].

1988'de ve 1991'de yine ABD'de, 1992'de İsveç ve Meksika'da ve 1993'de Danimarka'da yapılan araştırmalar çocuklarda görülen kanserlerle ve özellikle de lösemiyle, iletişim hatlarına yakın yaşama arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur [38,39]. Ayrıca cep telefonu zararları üzerinde de birçok araştırma yapılmaktadır. Kandaki zararlı proteinlerin ve toksinlerin beyine girmesini engelleyen savunma mekanizmasını devre dışı bırakmaya, yorgunluk, baş ağrısı, deride yanma hissi ortaya çıkarmaya, yüksek tansiyon oluşmasına, baş ağrıları, baş dönmesi ve dikkatin dağılmasına sebep olduğuna dair bulgular elde edilmiştir. Cep telefonu Alzheimer, Parkinson ve multiple skleroz (MS) gibi sinir hastalıklarının oluşma riskini arttırmaktadır [40].

Kulaklık ve mikrofon seti kullananların %80'inde bu tip sorunların olmadığı gözlenmiştir. Bu tip elektromanyetik alanların genelde iki etkisinden bahsedilir. Birisi ısı etkisidir. Çünkü yaydığı enerji, insan vücudundan geçerken bir miktar emilir, tutulur ve içerde bir ısı birikimi oluşur. Bu ısı istenmeyen sonuçlara sebep olabilir. İkincinin etkisi ise canlı organizma içindeki birbirine bağlanmış olan molekülleri, atomları etkiler ve bozar. Organizma kendini tamir eder ve düzeltir. Ama bir an kontrolden çıkabilir. Kontrolden çıktığında ise basit bir iki hücrenin ölümüne veya kanser gibi ölümcül bir hastalığa neden olabileceğinden şüphelenilmektedir.

Birkaç araştırmada ortalama değerden yüksek manyetik alanın bulunduğu bölgede uzun süre kalan hamile kadınların zor doğum yaptıkları gözlenmiştir. RF'li EM dalgaların dokular üzerinde iki temel etkisi olan termal etki ve termal olmayan ya da diğer adıyla kimyasal etki bundan sorumlu tutulmaktadır. Isı etkisi resmen kabul edilen dozlarda veya daha yüksek değerlerde meydana gelirken, kimyasal etki tehlike sınırlarının altındaki düşük dozlarda meydana gelmektedir. Uzun süreli düşük doza maruz kalmak kısa süreli yüksek dozdan daha riskli olarak kabul edilmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Materyal ve Yöntem

Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Farabi Hastanesi'ne yaklaşık olarak 300 metre mesafede TRT Trabzon orta dalga vericisi bulunmaktadır. TRT orta dalga vericisinin (çalışma frekansı 954 kHz, çıkış gücü 100 kW ve çalışma saati 9:00-18:00 arası) yaymış olduğu elektromanyetik dalgalarından dolayı hastane içindeki bazı servislerde bulunan cihazların (NST, EEG, v.d.) etkilendiği görülmüştür. Yapılan çalışmada Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Farabi Hastanesi'nin içinde bulunan bazı servislerde (Kadın Hastalıkları ve Doğum Servisi, Kardiyoloji Polikliniği, Perinatoloji Ünitesi, Radyoloji-Ultrason Odaları, Tüp Bebek Merkezi, Uyku Bozuklukları Merkezi, Nöroloji Polikliniği, Çocuk Kardiyoloji ve Çocuk EEG) elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler Chauvin Arnoux 43 (C.A. 43) alan şiddeti ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak, belirlenen limit değerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Ölçümlerin yapıldığı C.A. 43 alan şiddeti ölçüm cihazı, 100kHz-2,5GHz frekans aralığında çalışmaktadır. 0.1 V/m (Volt/metre)'den 200 V/m (Volt/metre)'ye kadar elektrik alan şiddetini ölçmek için tasarlanmış ve aynı zamanda şebeke hattı filtresine sahip bir cihazdır. C.A. 43 alan şiddeti ölçüm cihazında izotropik (eş yönlü) prob kullanılmıştır.

Ölçümlerde kullanılan C.A. 43 cihazı ile dizüstü bilgisayar arasında yapılan bağlantı, dizüstü bilgisayarın RS-232 çıkışından alınan fiber optik ara bağlantı kablosunun C.A. 43 cihazının RS-232 girişine takılması ile sağlanmıştır. Ayrıca dizüstü bilgisayarda C.A. 43 cihazı ile entegre çalışan Emigraph yazılımı bulunmaktadır. C.A. 43 cihazı ile yapılan elektromanyetik alan şiddeti ölçüm sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri Emigraph yazılımı sayesinde dizüstü bilgisayara aktarılmış ve istenildiği zaman dizüstü bilgisayara kaydedilmiştir.

Ölçümlerin doğruluğunun yüksek olması için, kullanılan alan şiddeti cihazımızı ölçüm yaptığımız yerlerde yerden yüksekliği 1.35m olan sabit bir platform oluşturduktan sonra 2sn aralıklar ile 3dk'lık (91 tane veri) ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sırasında cihazın dış etkenlerden etkilenmemesi için elektronik eşyaların kapatılarak yanında kimsenin olmamasına özen gösterilerek elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır.

2.2. Elde Edilen Ölçüm Sonuçları

Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Farabi Hastanesi'ndeki bazı servislerde bulunan cihazların bozulma nedenlerinin en büyük etkeni olan TRT orta dalga vericisinin yaymış olduğu elektromanyetik dalgaların, hastane içindeki cihazları negatif yönde etkilediğini daha iyi görebilmek için hem gündüz (TRT vericisinin çalıştığı saat aralığı) hem de gece (TRT vericisi kapalı durumda iken) elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan servisler ve o servislerde bulunan odaların fotoğrafları aşağıda ayrı ayrı başlıklar altında verilmiştir. Ayrıca her oda için yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması, ölçümü yapılan tarih ve saati belirten tablolar ile gösterilmiştir.

Ayrıca hastane içinde bulunan servislerde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamalarının grafiksel gösterimi Matlab programı yardımı ile elde edilerek ilgili bölümlerde verilmiştir.

2.2.1. Kadın Hastalıkları ve Doğum Servisi

Kadın hastalıkları ve doğum servisi içerisindeki yeni doğan ünitesi (doğumhane) travay odalarında bulunan NST (Non stres testi) cihazlarının TRT orta dalga vericisinin yaymış olduğu elektromanyetik dalgalar sonucunda kullanılamaz duruma geldiği ve anne karnında bulunan bebeklerin kalp atışlarının duyulmaz hale geldiği ortaya çıkmıştır. Bu sebepten dolayı bu serviste bulunan odalarda yapılan elektromanyetik alan şiddeti ölçümlerine daha çok ağırlık verilmiştir.

Elektromanyetik alan şiddeti değerlerinin havadaki elektriksel geçirgenlik, havadaki nem oranı v.b. etkilerle değiştiğinden dolayı farklı hava koşullarında farklı değerler gözlemlendiği görülmüştür. Bu sebepten dolayı elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri farklı hava (güneşli ve yağmurlu) koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca TRT orta dalga vericisinin yaymış olduğu elektromanyetik dalgaların hastane içinde bulunan cihazları etkileyip etkilemediğini daha iyi gözlemlemek için vericinin çalışma saatleri dışında gece ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak tarih ve saat belirterek aşağıda verilen tablolarda ayrı ayrı gösterilmiştir.

2.2.1.1. Doğumhane Odası



Şekil 2.1. Doğumhane odası ölçüm çalışması

Tablo 2.1. Doğumhane odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Doğumhane Odası	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
Gündüz güneşli havada yapılan ölçüm	31.03.2010	10:59:32 - 11:02:32	2,51
Gündüz yağmurlu havada yapılan ölçüm	09.04.2010	15:32:26 - 15:35:26	3,28
Gece yapılan ölçüm	31.03.2010	18:41:20 - 18:44:20	1,77

2.2.1.2. Travay-1 Odası



Şekil 2.2. Travay-1 odası ölçüm çalışması

Tablo 2.2. Travay-1 odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Travay-1 Odası	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
Gündüz güneşli havada yapılan ölçüm	31.03.2010	11:49:53 - 11:52:53	2,77
Gündüz yağmurlu havada yapılan ölçüm	09.04.2010	16:06:38 - 16:07:38	2,90
Gece yapılan ölçüm	31.03.2010	19:58:40 - 20:01:40	2,00

2.2.1.3. Travay-2 Odası



Şekil 2.3. Travay-2 odası ölçüm çalışması

Tablo 2.3. Travay-2 odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Travay-2 odası	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
Gündüz güneşli havada yapılan ölçüm	31.03.2010	15:48:52 - 15:51:52	3,69
Gündüz yağmurlu havada yapılan ölçüm	09.04.2010	15:43:58 - 15:46:58	4,58
Gece yapılan ölçüm	31.03.2010	19:39:34 - 19:42:34	2,00

2.2.1.4. Eklemsi Odası

Kadın hastalıkları ve doğum servisinde bulunan eklemsi odasında gündüz ve gece yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak Tablo 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Eklemsi odası ölçüm çalışması

Tablo 2.4. Eklemsi odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Eklemsi Odası	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
Gündüz yapılan ölçüm	31.03.2010	11:11:35 - 11:14:35	6,12
Gece yapılan ölçüm	31.03.2010	18:59:33 - 19:02:33	1,86

2.2.1.5. Doğumhane Koridoru

Doğumhane girişinde travay odalarının bulunduğu koridorda, yağmurlu havada 2 sn aralıklar ile 2 dk yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçüm sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti ölçümü değerlerinin ortalaması hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.5’te gösterilmiştir.

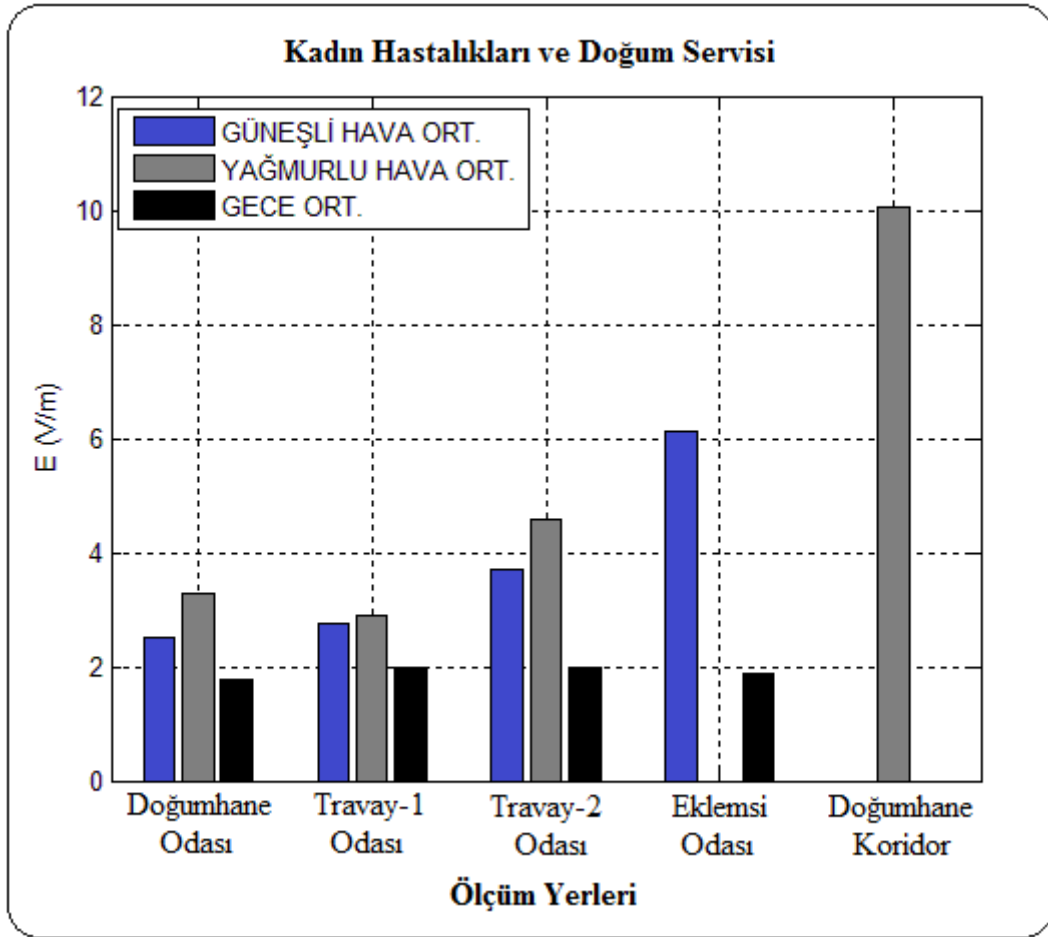


Şekil 2.5. Doğumhane koridoru ölçüm çalışması

Tablo 2.5. Doğumhane koridorunda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
31.03.2010	16:10:57 - 16:12:57	10,06

Kadın hastalıkları ve doğum servisinde bulunan odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması yukarı verilen tablolarda ayrı ayrı gösterilmiştir. Ölçüm sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamalarının grafiksel gösterimi, Matlab programı yardımıyla elde edilerek aşağıda Şekil 2.6’da verilmiştir. Elde edilen grafiklerde mavi renk ile gösterim, gündüz güneşli havada belirtilen serviste yapılan ölçümü, gri renk ile gösterim, gündüz yağmurlu havada belirtilen serviste yapılan ölçümü ve siyah renk ile gösterim ise gece yapılan ölçüm yani TRT radyo vericisinin kapalı durumunda olduğu zamanda yapılan ölçümü simgelemektedir.



Şekil 2.6. Kadın hastalıkları ve doğum servisi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

2.2.2. Kardiyoloji Polikliniği

2.2.2.1. EKG Laboratuvarı

Kardiyoloji Polikliniği Servisi'nde bulunan EKG laboratuvarında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması hesaplanarak Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6. EKG laboratuvarında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
02.04.2010	14:20:36 - 14:23:36	3,51

2.2.2.2. Poliklinik-1 Odası

Poliklinik odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.7'de gösterilmiştir.

Tablo 2.7. Poliklinik-1 odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
02.04.2010	13:59:48 - 14:02:48	1,99

2.2.2.3. Efor Laboratuvarı

Efor laboratuvarında bulunan güç kaynağının açık ve kapalı konumlarında iken yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak Tablo 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Efor laboratuvarı ölçüm çalışması

Tablo 2.8. Efor laboratuvarında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Efor Laboratuvarı	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
Güç kaynağı açık konumda	02.04.2010	13:34:10 - 13:37:10	6,06
Güç kaynağı kapalı konumda	02.04.2010	13:49:12 - 13:52:12	4,85

2.2.2.4. EKO Laboratuvarı

EKO laboratuvarında yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçüm sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri ortalaması hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.9’da gösterilmiştir. Ayrıca EKO laboratuvarında yapılan ölçüm çalışması Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

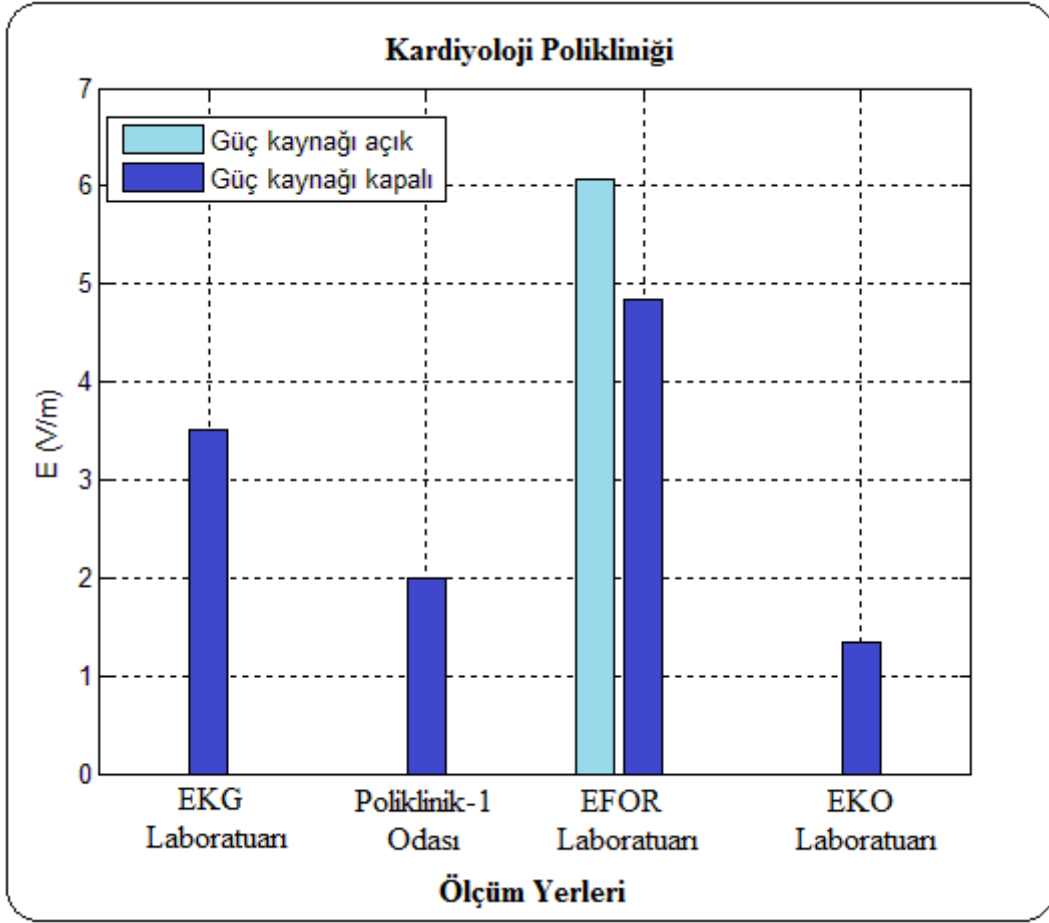


Şekil 2.8. EKO laboratuvarı ölçüm çalışması

Tablo 2.9. EKO laboratuvarında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
02.04.2010	14:33:29 - 14:36:29	1,35

Kardiyoloji polikliniğinde bulunan odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması yukarı verilen tablolarda ayrı ayrı gösterilmiştir. Ölçüm sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamalarının grafiksel gösterimi, Matlab programı yardımıyla elde edilerek aşağıda Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9. Kardiyoloji polikliniği ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

2.2.3. Çocuk Kardiyoloji EKO

2.2.3.1. Pediatrik Ekokardiyografi Odası

Çocuk kardiyoloji EKO servisinde bulunan pediatrik ekokardiyografi odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması Tablo 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Pediatrik Ekokardiyografi odası ölçüm çalışması

Tablo 2.10. Pediatrik Ekokardiyografi odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
05.04.2010	13:51:22 - 13:54:22	1,95

2.2.4. Koroner Anjiyo Ünitesi

Koroner anjiyo ünitesinde yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Anjiyo odası ölçüm çalışması

Tablo 2.11. Anjiyo odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
02.04.2010	14:57:42 - 15:00:42	1,64

2.2.5. Röntgen Odası

Hastanenin acil servis tarafında bulunan röntgen odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Röntgen odası ölçüm çalışması

Tablo 2.12. Röntgen odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
08.04.2010	14:27:18 - 14:30:18	2,04

2.2.6. Tomografi Odası

Tomografi odasında 2 sn aralıklar ile 4 dk'lık yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri ortalaması hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Tomografi odası ölçüm çalışması

Tablo 2.13. Tomografi odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
08.04.2010	14:48:35 - 14:52:35	4,1

2.2.7. Nöroloji Polikliniği

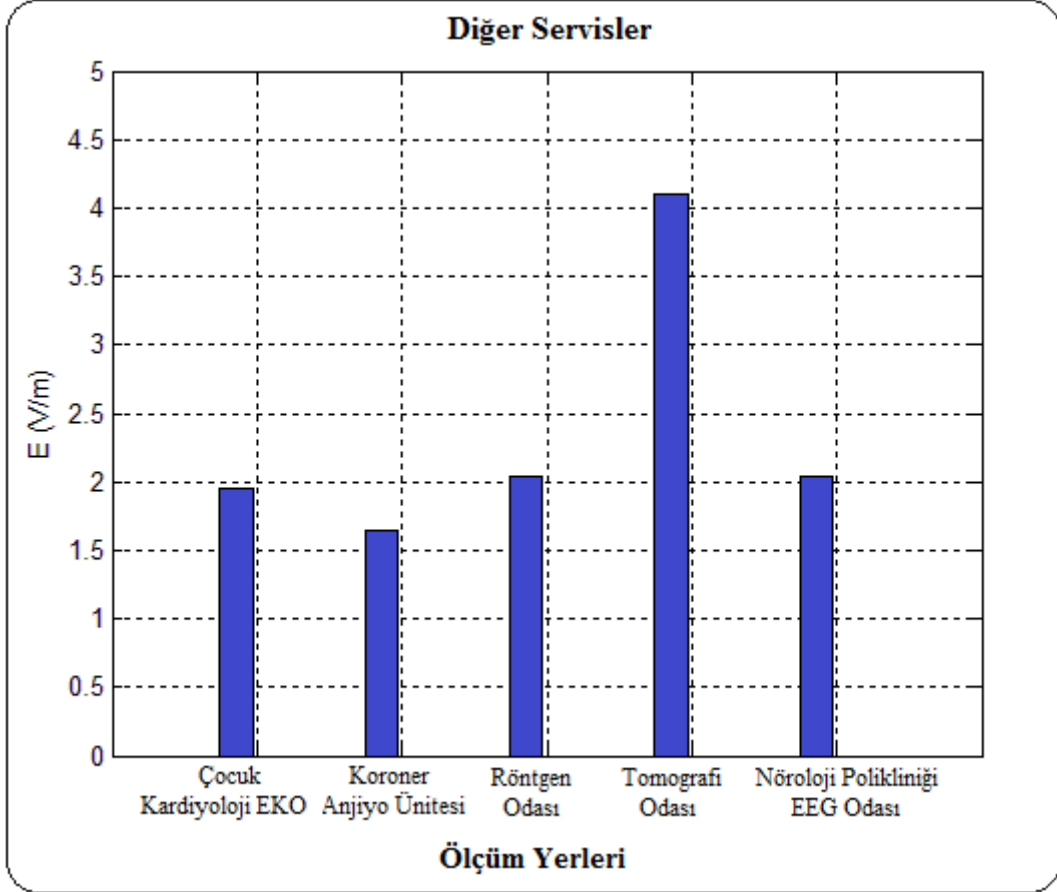
2.2.7.1 EEG Odası

Farabi Hastanesi yeni binasının 5. katında bulunan Nöroloji Polikliniği servisi içindeki EEG odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması hesaplanarak Tablo 2.14’te gösterilmiştir.

Tablo 2.14. Nöroloji polikliniği servisi içinde bulunan EEG odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
05.04.2010	14:10:42 - 14:13:42	2,04

Diğer Servisler başlığı altında ele aldığımız ölçüm yerlerinde ayrı ayrı yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları yukarıda konu başlıkları altında verilen ayrı tablolarda gösterilmiştir. Elde edilen elektrik alan şiddeti ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi Matlab programı yardımıyla elde edilerek aşağıda Şekil 2.14'te verilmiştir.



Şekil 2.14. Diğer servislerdeki ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

2.2.8. Radyoloji-Ultrason Odaları

Radyoloji-Ultrason Odaları servisinde 7 tane oda bulunmaktadır. Bu odalarda ayrı ayrı yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak Tablo 2.15'te gösterilmiştir. Ayrıca bu serviste yapılan ölçümlerde odalarda kimsenin olmamasına, ölçüm sırasında odalara kimsenin girmemesine ve ortamda bulunan elektronik cihazların kapalı konumda olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca Radyoloji-Ultrason odalarında yapılan ölçüm çalışması aşağıda verilen Şekil 2.15'te gösterilmiştir.

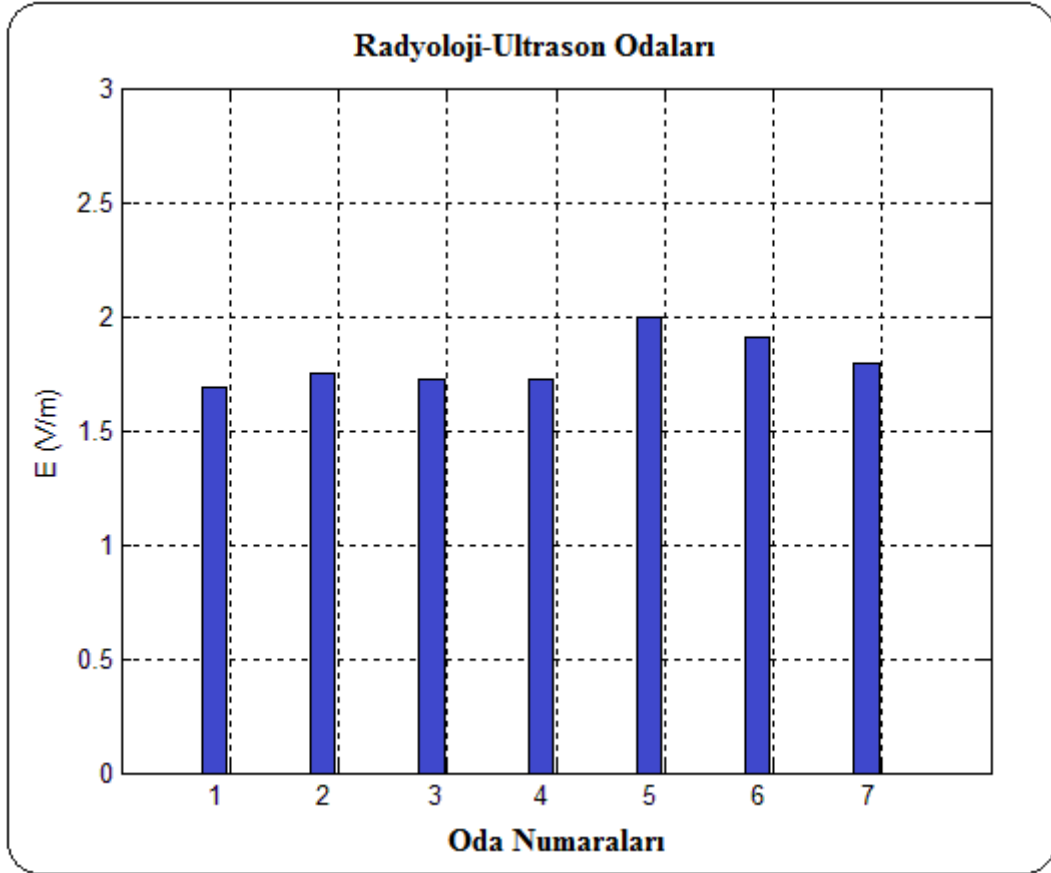


Şekil 2.15. Radyoloji-Ultrason odaları ölçüm çalışması

Tablo 2.15. Radyoloji-Ultrason odalarında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Radyoloji-Ultrason Odaları	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
1 numaralı oda	01.04.2010	15:30:36 - 15:33:36	1,69
2 numaralı oda	01.04.2010	15:40:54 - 15:43:54	1,75
3 numaralı oda	01.04.2010	15:21:01 - 15:24:01	1,72
4 numaralı oda	01.04.2010	15:03:19 - 15:06:19	1,72
5 numaralı oda	01.04.2010	15:07:56 - 15:10:56	2,00
6 numaralı oda	01.04.2010	14:32:37 - 14:35:37	1,91
7 numaralı oda	01.04.2010	14:19:14 - 14:22:14	1,79

Radyoloji-Ultrason Servisi'nde bulunan 7 oda da ayrı ayrı yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları yukarıda verilen Tablo 2.15'te gösterilmiştir. Bu ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi Matlab programı yardımıyla elde edilerek aşağıda Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Radyoloji-Ultrason odaları ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

2.2.9. Uyku Bozuklukları Merkezi

Farabi Hastanesi eski binasının 7. katında bulunan Uyku Bozuklukları Merkezi'nde 5 oda bulunmaktadır. Bu odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak, ölçüm yapılan tarih ve ölçümü yaptığımız saatleri belirtilen Tablo 2.16'da gösterilmiştir. Uyku bozuklukları merkezinde bulunan odalarda yapılan elektromanyetik alan şiddeti ölçüm çalışması Şekil 2.17'de gösterilmiştir.

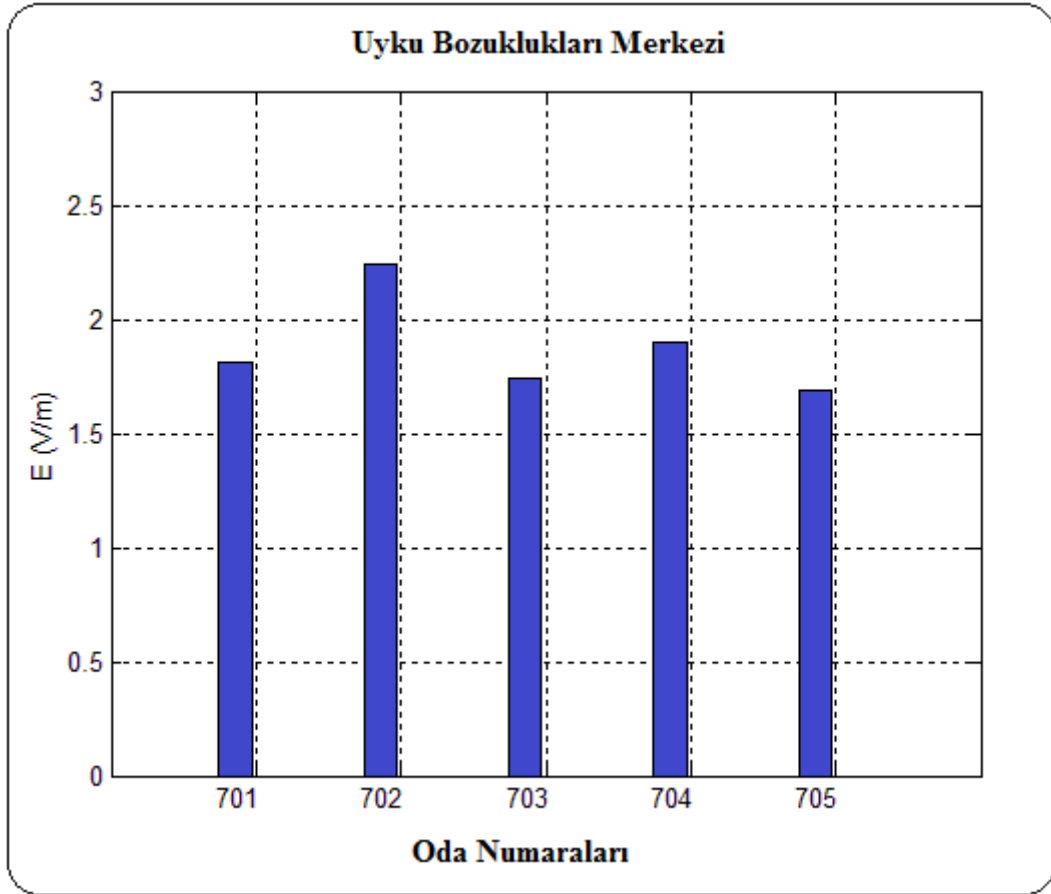


Şekil 2.17. Uyku bozuklukları merkezi ölçüm çalışması

Tablo 2.16. Uyku bozuklukları merkezinde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Uyku Bozuklukları Merkezi	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
701 numaralı oda	08.04.2010	16:23:25 - 16:26:25	1,81
702 numaralı oda	08.04.2010	16:27:28 - 16:30:28	2,24
703 numaralı oda	08.04.2010	15:44:35 - 15:47:35	1,74
704 numaralı oda	08.04.2010	15:34:38 - 15:37:38	1,9
705 numaralı oda	08.04.2010	16:42:51 - 16:45:51	1,69

Uyku Bozuklukları Merkezi'nde bulunan 5 oda da ayrı ayrı yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları yukarıda verilen Tablo 2.16'da gösterilmiştir. Bu ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi Matlab programı yardımıyla elde edilerek aşağıda Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.18. Uyku bozuklukları merkezi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

2.2.10. Çocuk EEG Servisi

Çocuk EEG Servisi içerisinde bulunan EEG kontrol odasında, EEG Video-Monitörizasyon hasta odası ve EEG çekim odalarında ortamın elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak ayrı başlıklar altında aşağıda verilen tablolarda gösterilmiştir.

2.2.10.1. EEG Kontrol Odası

EEG kontrol odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler, EEG kontrol odasında bulunan bilgisayarların açık ve kapalı olduğu konumda yapılmıştır. EEG kontrol odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.17’de gösterilmiştir.

Tablo 2.17. EEG kontrol odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

EEG Kontrol Odası	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
Bilgisayarlar açık konumda	02.04.2010	11:25:57 - 11:28:57	1,59
Bilgisayarlar kapalı konumda	02.04.2010	11:20:35 - 11:23:35	1,1

2.2.10.2. EEG Çekim Odaları

EEG çekim odalarında 2 oda bulunmaktadır. Bu odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak Tablo 2.18’de gösterilmiştir.

Tablo 2.18. EEG çekim odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

EEG Çekim Odaları	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
1.oda	02.04.2010	11:41:07 - 11:44:07	1,79
2.oda	02.04.2010	11:49:48 - 11:52:48	1,92

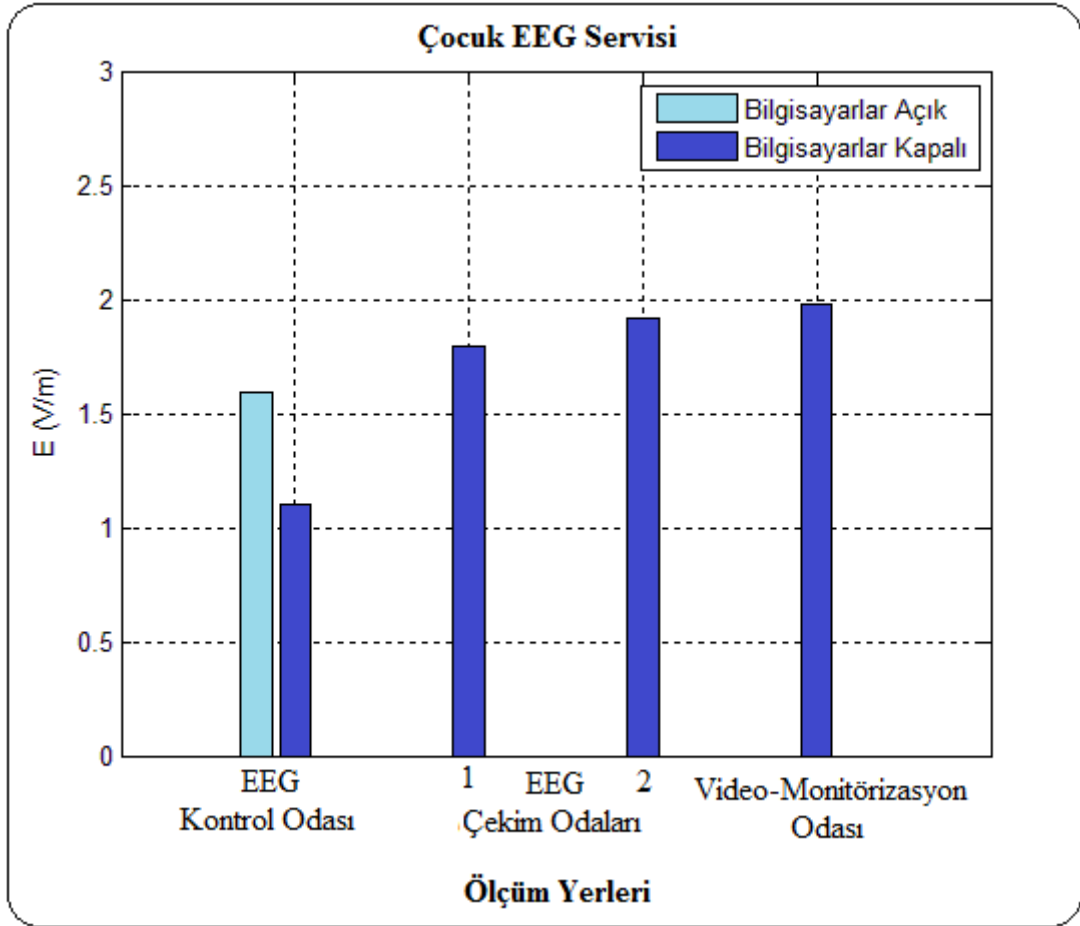
2.2.10.3. EEG Video-Monitörizasyon Odası

EEG Video-Monitörizasyon odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan şiddeti ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.19’da gösterilmiştir.

Tablo 2.19. EEG Video-Monitörizasyon odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması

Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
02.04.2010	11:08:27 - 11:11:27	1,98

Çocuk EEG Servisi'nde bulunan odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları yukarıda verilen ayrı ayrı tablolarda gösterilmiştir. Bu ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi Matlab programı yardımıyla elde edilerek aşağıda Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.19. Çocuk EEG servisi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

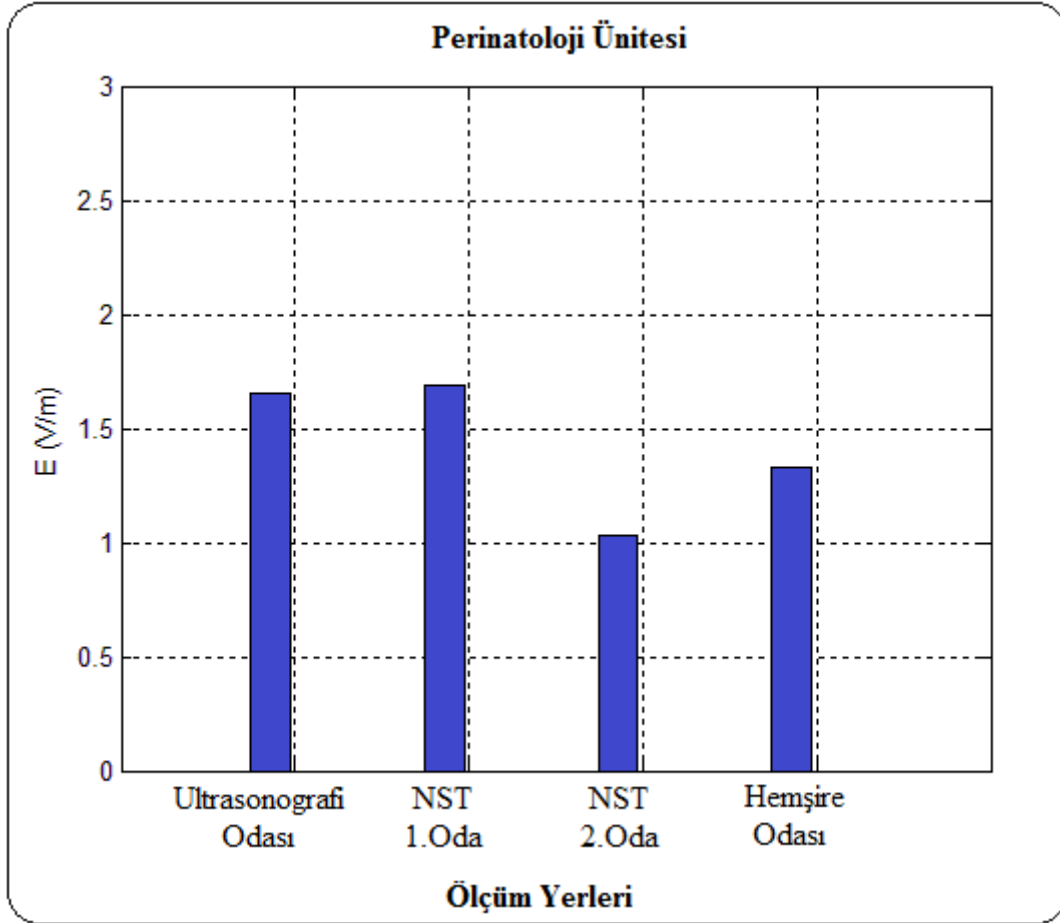
2.2.11. Perinatoloji Ünitesi

Perinatoloji Ünitesi'nde bulunan Ultrasonografi odası, NST odaları ve hemşire odasında ortamın elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.20'de gösterilmiştir.

Tablo 2.20. Perinatoloji ünitesinde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Perinatoloji Ünitesi	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
Ultrasonografi Odası	31.03.2010	15:12:38 - 15:15:38	1,65
NST 1. Oda	31.03.2010	14:27:46 - 14:30:46	1,69
NST 2. Oda	31.03.2010	14:50:42 - 14:53:42	1,03
Hemşire Odası	31.03.2010	14:31:47 - 14:34:47	1,33

Perinatoloji Ünitesi'nde bulunan odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları yukarıda verilen Tablo 2.20'de gösterilmiştir. Bu ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi Matlab programı yardımıyla elde edilerek aşağıda Şekil 2.20'de verilmiştir.



Şekil 2.20. Perinatoloji ünitesi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

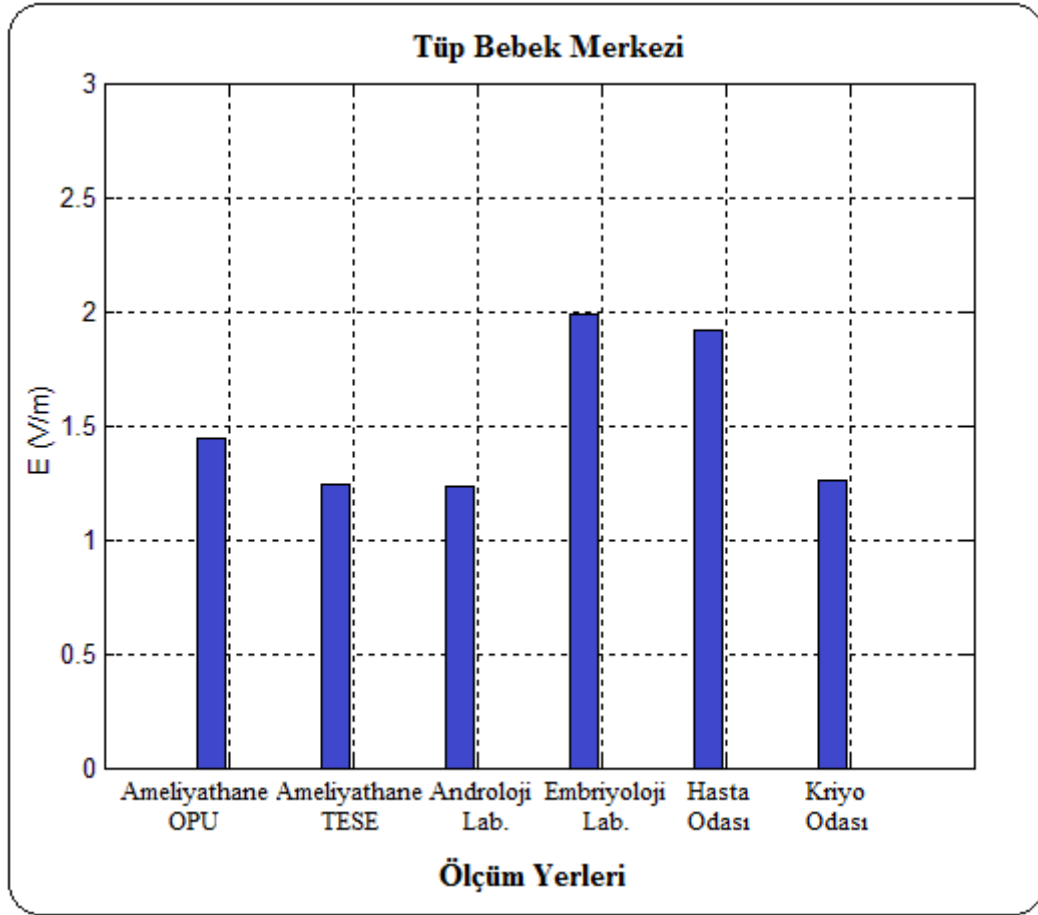
2.2.12. Tüp Bebek Merkezi

Tüp Bebek Merkezi'nde bulunan Ameliyathane OPU, Ameliyathane TESE, Androloji laboratuvarı, Embriyoloji laboratuvarı, Kriyo odası ve Hasta odasında ortamın elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Tüp Bebek Merkezi'nde bulunan odalarda yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 2.21'de gösterilmiştir.

Tablo 2.21. Tüp bebek merkezinde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Tüp Bebek Merkezi	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
Ameliyathane OPU	31.03.2010	13:40:24 - 13:43:24	1,44
Ameliyathane TESE	31.03.2010	14:01:06 - 14:04:06	1,24
Androloji Laboratuvarı	31.03.2010	13:50:56 - 13:53:56	1,23
Embriyoloji Laboratuvarı	31.03.2010	13:28:50 - 13:31:50	1,99
Hasta Odası	31.03.2010	14:05:59 - 14:08:59	1,92
Kriyo Odası	31.03.2010	13:18:18 - 13:21:18	1,26

Tüp Bebek Merkezi'nde bulunan odalarda ayrı ayrı yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları yukarıda verilen Tablo 2.21'de gösterilmiştir. Bu ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi Matlab programı yardımıyla elde edilerek aşağıda Şekil 2.21'de verilmiştir.



Şekil 2.21. Tüp bebek merkezi ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

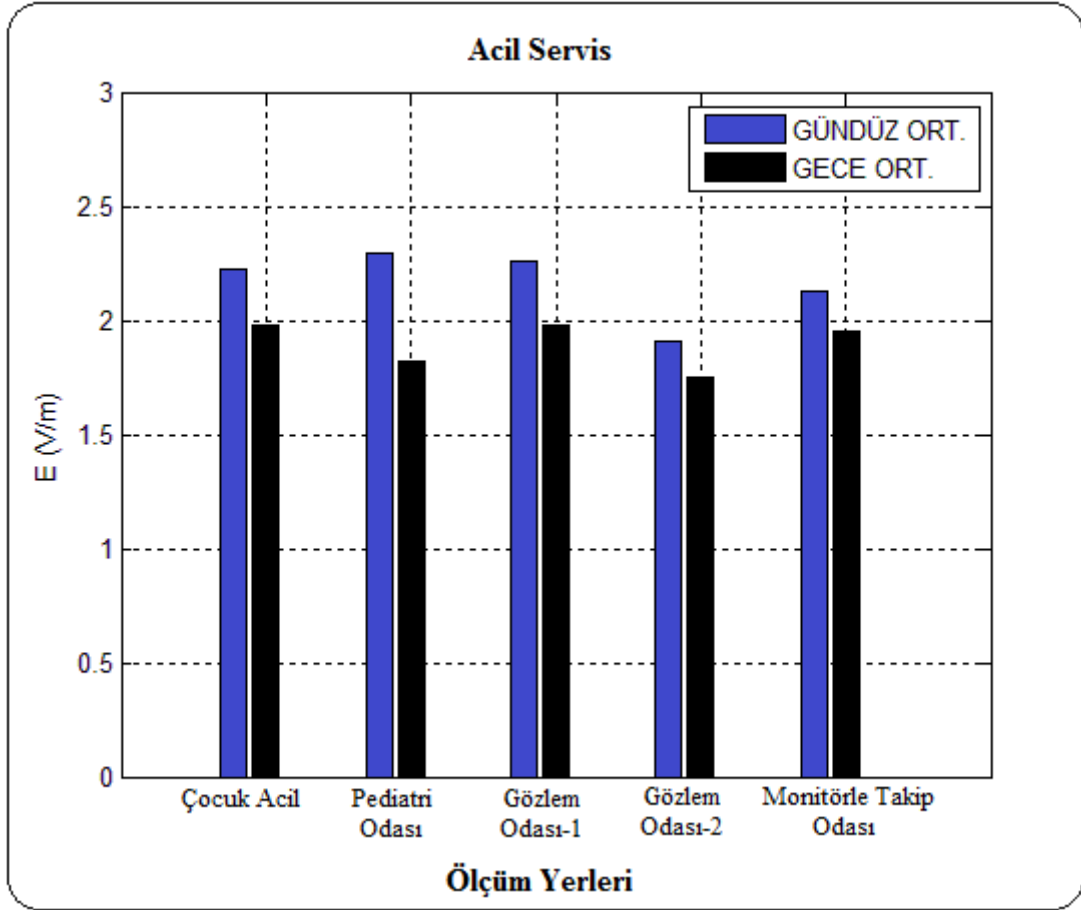
2.2.13. Acil Servis

Acil servis içerisinde bulunan bazı odalarda gündüz ve gece yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak Tablo 2.22’de gösterilmiştir.

Tablo 2.22. Acil servis içerisinde bulunan odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları

Acil Servis	Ölçüm	Tarih	Saat	Elektrik Alan Şiddeti [V/m] (Ortalama)
Çocuk Acil	Gündüz yapılan ölçüm	08.04.2010	13:24:12 - 13:27:12	2,22
	Gece yapılan ölçüm	07.04.2010	18:05:49 - 18:08:49	1,98
Çocuk Acil Pediatri Odası	Gündüz yapılan ölçüm	08.04.2010	13:36:55 - 13:39:55	2,29
	Gece yapılan ölçüm	07.04.2010	18:21:42 - 18:24:42	1,82
Gözlem Odası-1	Gündüz yapılan ölçüm	08.04.2010	14:09:50 - 14:12:50	2,26
	Gece yapılan ölçüm	07.04.2010	19:02:31 - 19:05:31	1,98
Gözlem Odası-2	Gündüz yapılan ölçüm	08.04.2010	13:44:49 - 13:47:49	1,9
	Gece yapılan ölçüm	07.04.2010	18:35:22 - 18:38:22	1,75
Monitörle Takip Odası	Gündüz yapılan ölçüm	08.04.2010	13:53:16 - 13:56:16	2,13
	Gece yapılan ölçüm	07.04.2010	18:48:18 - 18:51:18	1,95

Acil Servis'te bulunan odalarda ayrı ayrı yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları yukarıda verilen Tablo 2.22'de gösterilmiştir. Bu ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi Matlab programı yardımıyla elde edilerek aşağıda Şekil 2.22'de verilmiştir.



Şekil 2.22. Acil servis ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

2.3. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Farabi Hastanesi'nde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları hesaplanarak, ölçüm yapılan tarih ve saat ile birlikte tablolar halinde gösterilmiştir. Hastanenin bazı servislerinde yapılan ölçüm sonuçlarında elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları belirlenen limit değer olan 3 V/m'nin üstünde çıktığı görülmüştür. Bu değerlerin yüksek çıkmasının en büyük nedeni ise bu servislerin dışarıya bakan cephelerinin TRT orta dalga vericisinin olduğu bölgeye bakmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple TRT vericisine bakan servislerde yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin, vericiye bakmayan servislerde yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerine göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca hastanenin TRT vericisine bakan taraflarında, hastanenin güney cephesinde bulunan odalarda yapılan gece ölçümlerinde elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri, gündüz ölçümlerinde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinden daha düşük çıktığı görülmüştür. Ayrıca hava şartlarının değişikliğinden dolayı yapılan ölçümlerde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Yağmurlu hava koşullarında yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin, normal hava koşullarında yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerine göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu sebeple hastane çevresinde bulunan TRT orta dalga vericisi ve baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik alandan dolayı, bu bölgenin de genellikle yağışlı olması sebebiyle yapılan ölçümlerde hava şartlarının da önemli bir etken olduğu görülmüştür. Genellikle hastane dışı etkenlerden dolayı olabilecek sorunları göz önünde bulunduruldu ama hastane içinde bulunan elektronik cihazların bir arada çalışmasından dolayı da elektromanyetik alan oluşturmaktadırlar. Ortamda bulunan güç kaynaklarının ve bilgisayarların aynı anda çalışmaları sebebiyle yapılan ölçümlerde elektrik alan şiddeti değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca ölçümler sırasında hastanenin yoğun olan bölgelerinde elektrik alan şiddeti değerlerinin yüksek çıkmasında önemli bir etkenin de cep telefonu kullanımının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan ölçümlerde genellikle ortamda bulunan cihazların kapalı konumda olmasına dikkat edilmiştir. Genellikle birçok elektronik cihaz bir arada çalıştığından dolayı birbiriyle uyumluluk içinde çalışmak zorundadır. Cihazların birbirleriyle uyum içinde çalışmaları için elektromanyetik uyumluluk gerekmektedir. Aksi halde cihazlar birbiriyle girişim yapması sonucu istenmeyen olayların önüne geçmek

güçleşir. Bu sebepten dolayı girişim olayı olmadan önce sorunların önüne geçmek için önceden bu problemleri bilmek ve çözmek gerekmektedir.

Farabi Hastanesi içinde bulunan servislerde bulunan odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması, belirlenen limit değer olan 3 V/m ile karşılaştırılacak olursa;

Kadın Hastalıkları ve Doğum Servisi içerisinde bulunan doğum servisindeki odalarda yapılan elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri belirlenen limit değerinin üstünde çıkması, servisin bulunduğu cephenin tam karşısına denk gelen TRT vericisinin yaymış olduğu elektromanyetik dalgalardan dolayı olduğu görülmektedir. Bu serviste yapılan gündüz ve gece ölçümlerinde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinde TRT vericisinden kaynaklandığı çok açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı servis içerisindeki travay odalarında bulunan NST cihazlarının etkilendiği ve hatta NST cihazların çalışmama sorunlarıyla karşılaşmıştır. NST cihazlarının yardımı ile anne karnındaki bebeğin kalp atışlarının duyulamamasından dolayı doğum servisinin 1 ay'a yakın hizmet verememiş olması da gözlerden kaçmamalıdır. Ayrıca yağmurlu havalarda yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin yüksek çıkması daha da büyük sıkıntılar vermektedir. Bu serviste bulunan NST cihazların önemi çok fazladır. Çünkü bu serviste yapılacak doğumlardan önce bebeklerin sağlıklı olup olmadığı anlaşılabilmesi için varsa sağlık sorunlarını önceden bilmek, olaylara önceden müdahale etmek için çok önemlidir. Ayrıca bu serviste bulunan eklemsi odasında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması belirlenen limit değerinin iki katından fazla olduğu görülmektedir. Doğum sonrası kontrol altında tutulan hastaların bu odada yüksek derecede elektromanyetik alana maruz kalması büyük sorun teşkil etmektedir. Servis'te diğer bir sorun da şebeke hatlarından kaynaklanmaktadır. C.A. 43 cihazıyla yapılan ölçümlerde, cihazın şebeke hattı filtresi kaldırıldığında yani peak konumuna alındığında, cihazı elektrik prizlerine yaklaştırılarak yapılan ölçümlerde elde edilen değerlerin belirlenen limit değerden 5-6 kat daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Hastanenin bir başka servisi olan Kardiyoloji Polikliniği'nde bulunan Efor laboratuvarı, EKO laboratuvarı, EKG laboratuvarı ve Poliklinik odasında yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri incelendiğinde, EKG laboratuvarında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması, belirlenen sınır değer olan 3 V/m'nin üstünde çıktığı görülmüştür. Aynı şekilde Efor laboratuvarında

yapılan ölçümlerde de değerlerin yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca Efor laboratuvarında bulunan güç kaynağından da kaynaklanan bir elektromanyetik alana maruz kalındığı açıkça görülmüştür. Bu serviste bulunan Poliklinik odası ve EKO laboratuvarında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması belirlenen limit değerin altında çıkmıştır.

Çocuk Kardiyoloji EKO servisinde bulunan Pediatrik Ekokardiyografi odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması belirlenen limit değerin altında çıktığı görülmüştür.

Koroner anjiyo odasında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri belirlenen limit değerin altında çıkmıştır.

Hastanenin acil servis bölümünde bulunan röntgen odasında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri ortalaması belirlenen limit değerin altında çıkmıştır.

Radyoloji-Ultrason odalarında yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri belirlenen limit değerin altında çıkmıştır. Bu serviste bulunan 7 odada yapılan ölçümlerde elde edilen en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 5 numaralı odada çıkmıştır. Bu odanın konumu servisin tam merkezinde olması yani servisin yoğunluğundan dolayı değerin yüksek çıkması normaldir. Bu serviste yapılan ölçümlerde elde edilen değerler belirlenen limit değerin altında çıkmıştır.

Farabi Hastanesi eski binasının 7. katındaki Uyku Bozuklukları Merkezi'nde bulunan 5 oda ayrı ayrı yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri ortalamaları belirlenen limit değerin altında çıkmıştır. Bu serviste yapılan ölçümler sonucunda elde edilen en yüksek değer 702 numaralı odada çıkmıştır. Elde edilen elektrik alan şiddeti değeri belirlenen limit değere yakın bulunmuştur. Ayrıca her oda için ayrı ayrı yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri, Matlab programı yardımı ile grafiksel olarak gösterilerek karşılaştırılmıştır.

Çocuk EEG Servisi içerisinde bulunan EEG kontrol odasında, EEG Video-Monitörizasyon hasta odası ve EEG çekim odalarında ortamın elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri ortalamaları belirlenen limit değerin altında çıkmıştır. Bu serviste yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde en yüksek elektrik alan şiddeti

değerinin EEG Video-Monitörizasyon odasında çıktığı görülmüştür. Burada elde edilen elektrik alan şiddeti değeri de belirlenen limit değerin altında çıkmıştır.

Perinatoloji Ünitesi'nde bulunan Ultrasonografi odası, NST odaları ve hemşire odasında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri ortalamaları belirlenen limit değerin altında çıkmıştır.

Tüp Bebek Merkezi'nde bulunan Ameliyathane OPU, Ameliyathane TESE, Androloji laboratuvarı, Embriyoloji laboratuvarı, Kriyo odası ve Hasta odasında ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri belirlenen limit değerin altında çıkmıştır. Burada yapılan ölçümlerde en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri Embriyoloji laboratuvarı ve Hasta odasında yapılan ölçümlerde çıkmıştır. Bu değerler belirlenen limit değerin altında oldukları için bu odalarda yüksek derecede elektromanyetik alana maruz kalınması söz konusu değildir.

Farabi Hastanesi yeni binasının 5. katında bulunan Nöroloji Polikliniği servisi içindeki EEG odasında yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümü sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması belirlenen limit değerin altında, limit değere yakın çıkmıştır.

Acil Servis'te yapılan gündüz ve gece ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri arasında farklılıklar görülmüştür. Gece ölçümlerinde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin, gündüz ölçümlerinde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerine göre daha düşük çıkmasının sebebi, Acil Servis'in bulunduğu cephenin tam karşısında olan TRT vericisinin çalışma saatleri dışında olmasından dolayıdır. TRT vericisinin çalışma saatleri içerisinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerlerin, gece ölçümlerine göre yüksek çıktığı görülmüştür. Acil Servis'te yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri belirlenen limit değerin altında çıkmıştır. Ayrıca bu servisin günün her saati yoğun olması dolayısıyla, cep telefonu kullanımının daha fazla olmasının ortamdaki elektromanyetik alan şiddetini arttırdığı görülmüştür. Bu nedenle Acil Servis'te cep telefonu kullanımına daha çok dikkat edilmelidir.

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada Farabi Hastanesi içerisinde bulunan bazı servislerde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu ölçümler, hava koşullarının değişik olduğu zamanlarda ve TRT vericisinin çalışma saatlerinden dolayı da gündüz ve gece olmak üzere farklı zamanlarda ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamaları, belirlenen limit değerle karşılaştırılmıştır. Hastanenin bazı servislerinde bulunan bazı odalarda yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri, belirlenen limit değerın üstüne çıktığı görülmektedir.

Hastane içinde en çok elektromanyetik alana maruz kalınan yerler ise hastane içinde bulunan servislerin dışarıya bakan cepheleri, TRT orta dalga radyo vericisinin bulunduğu bölgeye baktıklarından dolayı, bu servislerde yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin belirlenen limit değerden daha yüksek çıktığı görülmektedir. Hastane içinde yapılan ölçümlerde elde edilen değerlerin en yüksek çıktığı yer, Kadın Hastalıkları ve Doğum Servisi içerisinde bulunan doğumhane ünitesinde bulunan odalarda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen değerlerin belirlenen limit değerden yüksek çıktıkları görülmektedir. Özellikle Travay-2 odasında ve Eklemsi odasında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri belirlenen limit değerın üstünde çıktığı görülmektedir. Bazı zamanlarda ortamda oluşan elektromanyetik alandan dolayı travay odalarında bulunan NST cihazlarının düzgün çalışmaması ve sorunun bir türlü giderilememiş olmasından dolayı belirli bir süre doğum yapacak olan hastalara hizmet verememiştir. NST cihazlarının önemi ise, anne karnında bulunan bebeğin sağlık durumunu belirlediğinden dolayı, doğumdan önce bu cihazın yardımıyla anne karnında bulunan bebeğin sağlık durumu hakkında bilgi vermektedir. Bu sebepten dolayı bu cihazların düzgün çalışması çok önemlidir. Ayrıca bu servisin koridorunda yapılan ortamın elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda elde edilen değerler belirlenen limit değerın çok çok üstünde çıkması sonucu, bu serviste gerekli olan önlemlerin alınmasını gerektirmektedir.

Diğer servislerde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin genel olarak belirlenen limit değerın altında çıktığı görülmüştür. Hastanenin ortamında en önemli sıkıntı oluşturan bir başka etken ise, hastane aydınlatma sistemlerinde kullanılan ampullerin daha tasarruflu ve daha az elektromanyetik alan yaymasına dikkat edilmelidir. Ayrıca

hastanenin bazı servislerinde elektrik alan şiddeti cihazımızın peak konumuna alınarak yani 50 Hz şebeke filtresi kaldırılarak, prizlere yakın yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin çok yüksek çıktığı görülmüştür.

Genel olarak hastanenin bazı servisleri dışında, yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin belirlenen limit değerinin altında çıktığı görülmüştür. Ayrıca gündüz ve gece olmak üzere yapılan ölçümlerde elde edilen değerlerin farklılıklarının en büyük sebebi o civarda bulunan TRT orta dalga vericisinin yaydığı elektromanyetik dalgalardan dolayı olduğu ve bu sebepten dolayı da hastane ortamında bulunan elektronik cihazların olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir.

4. ÖNERİLER

Farabi Hastanesi içerisinde bulunan elektronik cihazlarda elektromanyetik girişim (EMI) problemi olduğundan dolayı, hastane içerisinde kullanılan elektronik cihazların birbirlerini etkilememesi için elektromanyetik uyumluluk (EMC) gerekmektedir. Farabi Hastanesi içerisinde bir arada çalışan tıbbi elektronik cihazlarda EMI olmaması için tıbbi elektronik cihazlarının çalışma frekanslarına göre, cihazların hastane içerisinde uygun noktalara yerleştirilmesi gerekmektedir. Aynı çalışma frekansına sahip cihazların birbirinden etkilenmemeleri için farklı odalarda bulundurulmasına dikkat edilmelidir.

Farabi Hastanesi'nde yapılan ölçümlerde TRT orta dalga radyo vericisinin çalışma saat aralığı dışında hastane ortamında elektrik alan şiddeti değerin düştüğü ve elektronik cihazların normal çalıştıkları görülmüştür. TRT orta dalga radyo vericisinin çalışma saat aralığı içinde ise hastane içinde TRT orta dalga radyo vericisine bakan odalarda elektrik alan şiddeti değerlerinin limit değerden yüksek çıktığı görülmüştür. Bununla beraber, yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin belirlenen limit değerden yüksek çıkmasının sebebi o bölgede bulunan TRT orta dalga radyo vericisidir. Bu nedenle o bölgede TRT orta dalga radyo vericisinin bulunması uygun değildir.

TRT orta dalga radyo vericisinin yerleşim alanı içerisinde olması nedeniyle, vericiden kaynaklanabilecek sağlıkla ilgili kuşku ve endişelerin önüne geçebilmek için yetkili kurum ve kuruluşların önlem almalarının gerekli olacağı düşünülmektedir. Önlem olarak vericinin o bölgeden kaldırılması ya da kapatılması hem bölgede yaşayan halk için hem de hastanede yaşanan sorunların kesin çözümü olacağı görülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgulardan yararlanarak, hastane içinde gerek mevcut cihazlar gerekse dış kaynakların neden olduğu elektromanyetik girişimin önlenmesi yönünde çalışmalar yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Cheng, D.K., Fundamentals of Engineering Electromagnetics, (Çev: Köksal, A., Saka, B.), Palme Yayıncılık, Ankara, 2006.
2. Griffiths, D.J., Elektromanyetik Teori, Arte Güven Yayıncılık, İstanbul, 1996. 404.
3. Güngör, Y., FM Bandında (92.4 MHz) Ankara Bölgesi için Elektromanyetik Alan Şiddet Dağılımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
4. Elektromanyetik Alan, Bilim ve Teknik Dergisi, Ağustos, 2006. 79-81.
5. Hayt, H., Engineering Electromagnetics, Mc-Graw Hill, New York, 1981.
6. Keller, F.J., Skove, M.J. and Gettys, W.E., Fizik, (Çev: Akyüz, Ö.), Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1996.
7. Halliday, D. and Resnick. R., Fiziğin Temelleri, (Çev: Yalçın, C.), Arkadaş Yayıncılık, Ankara, 1991.
8. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Temmuz-Ağustos, 1998. 259. sayı, 276-278.
9. Seybold, J.S., Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2005.
10. Saunders, S.R. and Aragon-Zavala, A., Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., England, 2007.
11. Haslett, C., Essentials of Radiowave Propagation, William Webb and Sudhir Dixit, Cambridge University Press, New York, 2008.
12. Purcell, E.M., Elektrik ve Manyetizma, (Çev: Nasuhoğlu, R.), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ankara, 1974.
13. Şekerci S. ve Çerezci O., Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma, Boğaziçi Yayınları, İstanbul, 1997.
14. Serway, R.A. and Beichner, R.J., Fen ve Mühendislik için Fizik, (Çev: Çolakoğlu, Kemal), Palme Yayıncılık, 2002.
15. Balanis, C.A., Antenna Theory: Analysis and Design, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2005.

16. IEEE Std. 145-1983, IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1983.
17. Balanis, C.A., Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1989.
18. Sevgi, L., EMC ve Antenler: I-Tanımlar, Doğu Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2005.
19. Sevgi, L. 2000. Elektromanyetik Uyumluluk Elektromanyetik Kirlilik. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, s:318, İstanbul.
20. http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/EMC_YAZI/emc_tbd.pdf, 20 Nisan, 2009.
21. Davis, D.P., Indoor Radio-Wave Behavior at 850 and 1900 MHz with Electromagnetic Compability Applications in Hospital: An Experimental, Theoretical, Statistical and Morphological Characterization, Department of Electrical and Computer Engineering, McGill University, Montreal, October, 2003.
22. Bold, A., Toros, H. ve Şen O., Manyetik Alanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkisi, III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 19-21 Mart, 2003.
23. Dinçer, H., Elektromanyetik Işınım ve İnsan Sağlığına Etkileri, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 8-12 Kasım, 2000.
24. INIRC of the IRPA “Guidelines on limits of Exposure to Radio Frequency EM Fields in the Frequency Range from 100kHz to 300GHz” Health Physics, V.54-1, 115-123, 1998.
25. American National Standard–Safety Levels with Respect to Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz, ANSI/IEEE, New York, 1992.
26. International Commission on Non–Ionizing Radiation Protection: Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields; Health Physics 1998. 494-522.
27. Telekomünikasyon Kurumu/Ulusal Etkinlikler, http://www.tk.gov.tr/Etkinlikler/Ulusal_Etkinlikler/konferanslar/2008/sunumlar/doc_dr_malkan_sunum_baz.pps, 30 Temmuz, 2009.
28. T.C. Resmi Gazete, 10kHz-60GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik, (27230), 16.05.2009.

29. Akdeniz Üniversitesi/Elektromanyetik Dalgaların Biyolojik Yapılarla Etkileşim ve Etkileri ile Güvenlik Çalıştayı, <http://www.akdeniz.edu.tr/muhfak/elekt/emkdokument/cerezci.pdf>, 2 Aralık, 2009.
30. Sandström, M., et al; Subjective Symptoms Among Mobile Phone Users in Sweden and Norway, A Swedish-Norwegian Epidemiological Study; Bioelectromagnetic Society, Tampa, June, 1998.
31. Goldsmith, J.R., Epidemiological Evidence of Radio Frequency (Microwave) Effects on Health in Military, Broadcasting and Occupational Studies; Int J Occup Environ Health,1: 47-57, 1995.
32. Mann K. and Roschke J., Effects of Pulsed High-Frequency Electromagnetic Fields on Human Sleep. Neuropsychobiology, 33: 41-47, 1996.
33. Borbely, A.A., Huber, R., Graf, T., Pulsed High-Frequency Electromagnetic Field Effects Human Sleep and Sleep Electroencephalogram. Neurosci Lett 275: 207-210, 1999.
34. Krause, C.M., Effects of Electromagnetic Field Emitted by Cellular Telephones on the EEG during a Memory Task. NeuroReport 11: 761-764, 2000.
35. Moulder, J.E. and Foster, K.R., Biological Effects of Power Frequency Fields as They Relate to Carcinogenesis; Proc Soc Exper Biol Med, 209: 309-324, 1995.
36. Electromagnetic Fields and Public Health Cautionary Policies: http://www.who.int/docstore/peh-emf/publications/facts_press/EMF-Precaution.htm.
37. Electromagnetic Fields and Public Health: www.who.int/int-fs/en/fact193.html.
38. Feychting, M. and Ahlbom, A., Magnetic Fields, Leukemia, And Central Nervous System Tumors in Swedish Adults Residing Near High-Voltage Power Lines. Epidemiology, Cambridge, Mass., 5, 501-509, 1994.
39. Savitz, D.A. and Loomis, D.P., Magnetic Field Exposure in Relation to Leukemia and Brain Cancer Mortality among Electric Utility Workers. Am. J. Epidemiol., 141,123-134, 1995.
40. Sobel, E., Davanipour, Z., Sulkava, R., Erkinjuntti, T., Wikstrom, J., Henderson, V.W., Buckwalter, G., Bowman, J.D. & Lee, P.J., Occupations with Exposure to Electromagnetic Fields: A Possible Risk Factor for Alzheimer's disease. Am. J. Epidemiol., 142, 515-524, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Bergama/İzmir’de doğdu. Lise öğrenimini, 2001 yılında Bergama Lisesi’nde tamamladı. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Milli Piyango Yabancı Dil Hazırlık Programını bir yıl okuduktan sonra Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü’nde Lisans Program’ına başladı ve 2007 yılında Fizik Bölümü’nü tamamladı. 2008 yılı bahar döneminde Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Program’ına başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.