



**T.C.**  
**Uludağ Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK  
FAKÜLTESİ BİNALARINDA ELEKTROMANYETİK  
KİRLİLİK HARİTASININ OLUŞTURULMASI**

**Berkant ÇELİK**

**Yüksek Lisans Tezi**



**BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK  
FAKÜLTESİ BİNALARINDA ELEKTROMANYETİK  
KİRLİLİK HARİTASININ OLUŞTURULMASI**

**Berkant ÇELİK**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
BİNALARINDA ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK HARİTASININ  
OLUŞTURULMASI**

**Berkant ÇELİK**

Dr. Öğr. Üyesi Esin KARPAT  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2019

## TEZ ONAYI

Berkant ÇELİK tarafından hazırlanan “Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binalarında Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Oluşturulması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Dr. Öğr. Üyesi Esin KARPAT

**Başkan** : Dr. Öğr. Üyesi Esin KARPAT

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Esin KARPAT

**Üye** : Prof. Dr. Güneş YILMAZ

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Ömer ZOR

İmza

İmza

İmza

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof.Dr.Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

04.07.2019

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

04.07.2019

  
**Berkant ÇELİK**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNALARINDA ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK HARİTASININ OLUŞTURULMASI

**Berkant ÇELİK**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Esin KARPAT

Bu tez çalışmasında, Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binalarındaki elektromanyetik kirlilik incelenmiş, çalışmalar kapsamına Görükle yerleşkesi içerisindeki diğer fakülte ve bölümlere ait alanlar da dahil edilmiştir. Ortamda belirli sürelerdeki statik ölçüm metoduyla ölçülen elektrik alan değerlerine göre elektromanyetik kirlilik haritası oluşturulmuştur. Yapısal bütünlük sağlanabilmesi için elektromanyetik alan teorisinin temellerine ilişkin bilgilendirme yapılmış ve elektromanyetik alanın canlı sağlığına etkileri açıklanmaya çalışılmıştır. Ölçüm sonuçları grafikler ve tablolar halinde verilerek ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğu tartışılmıştır. Elektromanyetik alan etkisinden minimum düzeyde etkilenmek için öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik alan, Elektrik Alan, Manyetik Alan, Elektromanyetik Kirlilik

**2019, viii+ 112 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

**ELECTROMAGNETIC POLLUTION MAPPING OF BURSA ULUDAG  
UNIVERSITY ENGINEERING FACULTY BUILDINGS**

**BERKANT CELIK**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electronics Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Dr.Esin KARPAT

In this thesis, electromagnetic pollution of Bursa Uludağ University Engineering Faculty buildings was investigated and the field values in other faculties and departments within the Görükle Campus were included in the studies. Electromagnetic pollution map was created according to the electric field values measured by static measurement method at certain times in the environment. The fundamentals of the theory of electromagnetic fields have been informed and the effects of electromagnetic field on living health have been explained. The measurement results were presented in graphs and tables and their compliance with national and international standards was discussed. Recommendations for minimizing the impact of the electromagnetic field were presented.

**Keywords:** Electromagnetic Field, Electric Field, Magnetic Field, Electromagnetic Pollution

**2019, viii + 112 pages.**

## TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği destek ve yardımdan dolayı değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Esin KARPAT ve Prof. Dr. Güneş YILMAZ`a, değerli arkadaşım Muhammed Rafet BAKCAN`a ve her zaman yanımda olan sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Berkant ÇELİK

04 / 07 / 2019





## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1.GİRİŞ .....	9
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	13
2.1 Elektromanyetik Alanların Sağlık Etkilerini İnceleyen Çalışmalar.....	16
2.1.1 Çocukluk kanserleri .....	16
2.1.2 Yetişkin kanserleri .....	18
2.1.3 Depresyon ve intihar .....	19
2.1.4 Alzheimer ve bunama .....	19
2.1.5 Melatonin salınımı ve Gebelik.....	20
2.1.6 Bağışıklık zaafı.....	20
2.1.7 Davranış sorunları .....	20
2.1.8 Diğer rahatsızlıklar.....	20
2.2 Elektromanyetik Alan Etkisi ve Elektromanyetik Alan Kaynakları .....	21
2.2.1 İnsana Yakın Yapay Kaynaklar .....	23
2.2.2 İnsana Uzak Yapay Kaynaklar.....	24
2.3 Elektromanyetizmanın Tarihsel Gelişimi .....	27
2.4 Elektrik Alan .....	29
2.4.1 Gauss Kanunu .....	35
2.4.2 Yük Dağılımı Etkisiyle Elektrik Potansiyeli.....	36
2.5 Manyetik Alan.....	37
2.5.1 Manyetik Alan Kavramının Arka planı.....	38
2.6 Elektromanyetik Alanlar .....	41
2.7 Elektromanyetik Işıma .....	43
2.7.1 Işıma .....	43
2.7.2 Radyoaktivite (Radyoaktiflik).....	43
2.7.3 İyonlaştırıcı Işıma (Nükleer Işıma) .....	47
2.7.4 İyonlaştırmayan Işıma (Elektromanyetik Işıma).....	47
2.8 Elektromanyetik Dalganın Taşıdığı Enerji.....	48
2.8.1 Poynting Vektörü .....	48
2.8.2 Ortalama Poynting Teoremi .....	48
2.9 Özgül Emilim Oranı (SAR) .....	49
2.10 Yakın Alan ve Uzak Alan Kavramları .....	49
3.MATERYAL VE YÖNTEM .....	51
3.1 İnsan Sağlığı Açısından Ulusal Ve Uluslararası Standartlar.....	51
3.2 Ölçüm Yöntemleri.....	55
3.2.1 Ulusal Yönetmeliklere Göre Ölçüm Yöntemleri .....	55
3.2.2 Uluslararası Kuruluşlara Göre Ölçüm Yöntemleri .....	57
3.3 Kırınım ve Yansıma .....	61
3.4 Güvenlik Mesafesi .....	66
3.5 Elektrik Alan Ölçü Aleti .....	67

4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	72
5.SONUÇ .....	101
KAYNAKLAR .....	105
ÖZGEÇMİŞ .....	111



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

f

c

$\lambda$

$\rho$

M

B

P

J

$\sigma$

D

$\epsilon$

q

$\Gamma$

$L_t$

$L_f$

F

AC

DC

Hz

E

H

A

W

V

eV

T

G

### Açıklamalar

Frekans

Işık hızı

Dalga boyu

Yük yoğunluğu

Mıknatıslanma vektörü

Manyetik akı yoğunluğu

Poynting vektörü

Akım yoğunluğu

Elektriksel iletkenlik

Elektrik akı yoğunluğu

Dielektrik sabiti

Elektriksel yük

Duran Dalga Oranı

Toplam Kayıp

Kat nüfuz kayıp faktörü

Kuvvet

Alternatif akım

Doğru akım

Hertz

Elektrik alan

Manyetik alan

Amper

Watt

Volt

Elektronvolt

Tesla

Gauss

### Kısaltmalar

BTK

CENELEC

CEPT

EEC

SAR

RF

GSM

ICNIRP

UHF

VHF

EHF

ELF

WHO

EMA

### Açıklamalar

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu

Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi

Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri

Konferansı

Elektronik Haberleşme Komitesi

Özgül Emilim Oranı

Radyo Frekans

Mobil İletişim İçin Küresel Sistem

Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan

Koruma Kuruluşu

Ultra yüksek frekans

Çok yüksek frekans

Ekstrem yüksek frekans

Ekstrem düşük frekans

Dünya Sağlık Örgütü

Elektromanyetik Alan

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Belo Horizonte için baz istasyonuna olan mesafeye göre kanserden ölüm hızları (1996 ile 2006 yılları arasındaki doz cevap ilişkisi) .....	19
Şekil 2.2. Elektrik Alan ve Manyetik Alan Yayılımı .....	28
Şekil 2.3. Bir elektrik alan içindeki pozitif ve negatif yüklü parçacıkların hareketi .....	30
Şekil 2.4. Boş uzayda iki pozitif yükün oluşturduğu elektriksel kuvvet.....	31
Şekil 2.5. Noktasal yük sonucunda oluşan elektrik alan .....	32
Şekil 2.6. Elektrik Alan çizgileri.....	33
Şekil 2.7. Bir elektrik alanda P1`den P2`ye giden iki yol.....	34
Şekil 2.8. Bir elektrik alan içinde seçilen S yüzeyi.....	36
Şekil 2.9. Yük dağılımı etkisi ile elektriksel potansiyel .....	37
Şekil 2.10. İçinden Akım Geçen Telde Sağ El Kuralı .....	38
Şekil 2.11. Elektromanyetik Tayf .....	45
Şekil 2.12. Atmosferdeki Elektromanyetik Dalgalar`ın Geçişkenliğine Göre Sınıflandırılması.....	45
Şekil 3.1. Ölçüm Noktalarının Tanımı ECC/REC/(02)04`e göre.....	58
Şekil 3.2. Duvar boyunda dalga yayılım modeli.....	62
Şekil 3.3. Elektrik alan düzlem geliş açısı .....	62
Şekil 3.4. Yansıma geometri modeli .....	63
Şekil 3.5. 2 Boyutlu Olarak Baz İstasyonu Işıma Örüntüsü .....	65
Şekil 3.6. Uzak Alanda Baz İstasyonuna Maruz Kalan İnsan .....	66
Şekil 3.7. Önerilen Güvenlik Mesafesi Modeli.....	67
Şekil 3.8. SRM 3006 Ölçü Aleti .....	68
Şekil 3.9. Ölçüm cihazı anlık ölçüm ekranı .....	70
Şekil 3.10. Cihazın ekranından servis tablosu görünümü.....	71
Şekil 4.1. Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Görükle Yerleşkesi uydu görüntüsü .....	72
Şekil 4.2. Bursa Uludağ Üniversitesi içerisinde yer alan baz istasyonlarının uydu görüntüsü üzerinde gösterimi .....	73
Şekil 4.3. E devlet`deki BTK verilerine göre Baz istasyonu 1 için ölçümün konumu ...	73
Şekil 4.4. E devlet üzerinden alınan BTK verilerine göre Baz istasyonu ölçüm değeri .	74
Şekil 4.5. Üniversite Hastanesi 5. kat için ölçüm verilerinin grafik halinde gösterimi ..	89
Şekil 4.6. Üniversite Hastanesi 6. kat için ölçüm verilerinin grafik halinde gösterimi ..	90
Şekil 4.7. 2017 Şubat ayı Üniversite Hastane ölçümlerinin harita üzerinde gösterimi ..	92
Şekil 4.8. 2018 Şubat ayı Üniversite Hastane ölçümlerinin harita üzerinde gösterimi ..	93
Şekil 4.9. Üniversite Görükle Yerleşkesi`nde alçak frekans ölçümü grafik gösterimi ...	98
Şekil 4.10. Mühendislik Fakültesi elektromanyetik alan ölçümleri harita üzerinde gösterimi .....	101
Şekil 4.11. Üniversite Görükle Yerleşkesi elektromanyetik alan ölçümleri harita üzerinde gösterimi.....	101
Şekil 5.1. Mühendislik Fakültesi ölçümleri grafik gösterimi.....	102

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Yüksek gerilim hattından kaynaklanan elektromanyetik alan ile çocukluk çağındaki lösemi ilişkisini araştıran %95 güven aralığı ile çalışma örnekleri.....	17
Çizelge 2.2. Baz istasyonuna olan mesafeye göre kansere bağlı ölüm hızının değişimi. ....	18
Çizelge 2.3. Elektromanyetik Alan Oluşturan Bazı Yapay Kaynakların Frekansları.....	26
Çizelge 2.4. Bazı malzemelerin dielektrik geçirgenlikleri.....	34
Çizelge 2.4. Bazı malzemelerin dielektrik geçirgenlikleri.....	35
Çizelge 2.5. Başlıca Elektromanyetik Tayf Bantları.....	46
Çizelge 2.6. Yakın ve uzak alan değerlerinin antenden uzaklık ilişkisi .....	50
Çizelge 3.1 Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği MADDE 16 – (Değişik:RG-17/4/2018-30394) `ya göre ülkemizdeki elektromanyetik alan şiddeti limit değerleri.....	52
Çizelge 3.2. ICNIRP 1998 standardına göre halk sağlığı için elektrik ve manyetik alan limit değerleri .....	53
Çizelge 3.3. ICNIRP 1998 standardına göre mesleki maruziyet için elektrik ve manyetik alan referans değerleri.....	53
Çizelge 3.4. Alçak frekans maruziyet limit değerleri .....	54
Çizelge 3.5. 2.4 GHz`de bazı yapı malzemeleri için bağıl geçirgenlik ve iletkenlik değerleri.....	61
Çizelge 3.6. N, güç kayıp katsayısı .....	64
Çizelge 3.7. Kat nüfuz kayıp faktörü $L_f$ , dB cinsinden.....	64
Çizelge 3.8. Elektrik Alan Ölçü Aletinin Kullanılan Anten Çeşidi İle Teknik Özellikleri .....	69
Çizelge 4.1. Yerleşke içinde 94 noktada alınan ölçümler.....	75
Çizelge 4.2. Üniversite Hastane ölçümleri.....	81
Çizelge 4.3. Üniversite Hastanesi`nde cam ve duvar arkası alınan ölçümler .....	83
Çizelge 4.4. Üniversite Hastanesi`nde 5. kat için servis tablosuyla beraber ayrıntılı ölçümler.....	84
Çizelge 4.5. Üniversite Hastanesi`nde 6.kat için servis tablosuyla beraber ayrıntılı ölçümler.....	86
Çizelge 4.6. 2017 Şubat Ayı Üniversite Hastane ölçümleri.....	90
Çizelge 4.7. 2018 Şubat ayı Üniversite Hastane ölçümleri.....	91
Çizelge 4.8. 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 1. gün ölçümleri.....	94
Çizelge 4.9. 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 2. gün ölçümleri .....	95
Çizelge 4.10. 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 3. gün ölçümleri.....	95
Çizelge 4.11. 2018 Şubat ayı Ünivesite Hastanesi 4. gün ölçümleri .....	96
Çizelge 4.12. 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 5. gün ölçümleri .....	97
Çizelge 4.13. Mühendislik Fakültesi ölçümleri çizelge gösterimi.....	99

## 1.GİRİŞ

Elektrik enerjisine bağlanmış bir cihaz aktif konuma geldiğinde, cihazdan akan elektrik akımı, kaynağın elektriksel gücü ile doğru orantılı olarak manyetik alan meydana getirmektedir. Oluşan manyetik alan elektrikli cihazın çok yakın mesafelerde meydana gelmekte ve yine cihazın yakınında çok güçlü bir şekilde etkisini göstermektedir, aynı şekilde mesafeyle doğru orantılı olarak cihazdan uzaklaştığında şiddeti de azalmaktadır. Bu manyetik alan kolaylıkla ortadan kaldırılamamakta ve şiddeti azaltılamamaktadır (WHO 2008, WHO 2007, İlhan 2008).

Elektromanyetik alanlar; İngilizce`de yer alan “electromagnetic fields” ve “electric and magnetic fields” sözcüklerinin kısaltması şeklinde kullanılmaktadır. Elektrik ve manyetik alan tek başına veya birlikte oluşabilirler. Fakat elektrik ve manyetik alanların canlılara etki biçimleri ve özellikleri birbirlerine göre farklılıklar göstermektedir. Elektrik alanlar, iletici özelliğe sahip bazı maddeler (binalar, bitki örtüsü, dağ, tepe, deniz vb.) ile zayıflatılabilirken; manyetik alanlar için bu zayıflatma mümkün değildir. Her iki alanın ortak özellikleri ise kaynaktan uzaklaştıkça azalmalarıdır (İlhan 2008, Cowan ve Gidlestone 1995 ).

Elektromanyetik kirlilik söz konusu olduğunda belirlenen sınır değerler genel itibariyle ısıl etkilere dayalı belirlendiğinden biyolojik, genetik, kimyasal ve psikolojik etkiler ısıl etkilerine göre çok daha az sayıda ele alınmıştır.

Canlıların sağlığına etkileri yönünden ele alındığında herhangi bir konunun, temelde etkinin nedeni (etken), çevre ve etkilenen (konakçı) şeklinde tasvir edilen bir üçgen çerçevesinde ele alınması en basit yaklaşım metodudur (Anonim, 2014). Bahsedilen üçgenin ilk basamağı etkiyi oluşturan neden olan etkidir. Elektromanyetik kirlilik konusunda bahsedilen etken, elektromanyetik alanlardır. Elektromanyetik alanlar doğal ve yapay kaynaklardan yayılır. Etkileri göz önüne alındığında inceleme yapılması gereken alan, içinde yapay kaynak tabanlı ELF-EHF bandındaki RF ve mikrodalga ışımadır. Bu bağlamda etkinin nedeni olan elektrik alanlar V/m, manyetik akı yoğunluğu da uluslararası birimleri olan  $\mu\text{T}$  veya mG ile ifade edilir. Doğal

elektromanyetik alan kaynaklarından birkaç örnek verildiğinde ilk akla gelenler; güneş, yer çekirdeği, uzakta bulunan bazı yıldızlar ve doğa koşulları neticesindeki atmosferik deşarj olaylarıdır (Anonim 2014).

ICNIRP tarafından belirlenmiş sınır değerler, insan vücuduna kısa dönemdeki etkiler göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Geçmiş tarihlerde yapılan bazı araştırmalar bazı istasyonlarının kısa dönemde baş ağrısı ve uyku bozukluğu gibi bazı belirtilerin nedeni olabileceğini göstermiştir (Abdel-Rassoul ve ark. 2007, Santini 2002). Ancak bunların yanında uzun dönemdeki etkileri ile ortaya çıkan kanser gibi rahatsızlıkları inceleyen araştırmalar daha az sayıdadır (Anonim 2014, Eger 2004).

Üçgenin bir diğer basamağı da konakçı olarak adlandırabileceğimiz elektromanyetik alana maruz kalan insandır. Burada insanın, incelenen etkenle ilgili özelliklerini ele almak gerekir. Bu özelliklerin bir kısmını sayacak olursak kişinin; yaşı, fiziksel gelişimi, genetik yatkınlığı, kazanılmış bağışıklığı, yaptığı meslek, geçirdiği veya geçirmiş olduğu mevcut hastalık, elektrikli araç kullanım durumu ve bu kullanımın süresidir. Geçmiş yıllarda yapılan bazı araştırmalara göre elektromanyetik alan etkilerinin en yüksek olduğu grup elektrik işlerinde çalışanlardır. Büyük yerleşim yerlerinden daha uzak ortamlarda çalışan meslek gruplarında ise bu etkinin çok daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Anonim 2014, Zaffanella ve ark. 1998).

Üçgenin üçüncü ve son basamağı olan çevre değişkeni; kişinin yaşamakta olduğu ortamı, çalışma ortamını ve sosyal yaşamını idame ettirdiği herhangi bir ortamı hatta etkinin oluşmasına neden olan elektromanyetik alan kaynaklarının yerleşim düzenini, kentleri, bölgeleri, teknolojik olarak gelişmiş ülkelerde sınırların tümünü oluşturabilir. Dolayısı ile bu tanımdan da anlaşılacağı gibi çevre kavramı çok çeşitli şekillerde ele alınabilmektedir. Bu nedenle elektromanyetik alanın etkilerinden bahsedebilmek için bölgesel olarak elektromanyetik kirliliği belirlemek ve sorun teşkil eden yerlerde bu kirliliğin kontrol altına alınması için elektromanyetik kirlilik haritaları oluşturulmaya başlanmaktadır (Anonim 2014).

Yapılan çalışmalar elektromanyetik alan seviyelerinin ülkeler arasında değişkenlik gösterdiğini ve bu değişkenliğin uygun teknolojinin kullanımı ile ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

Çalışmalar neticesinde yapılan önemli bir tespit de yaşam koşulları, meslek, yaş grubu ve ülkeler arasında elektromanyetik kirlilik seviyelerinin değişiklik göstermesine rağmen toplumun büyük bir kısmının önemli derecede elektromanyetik kirlilik etkisi altında olduğudur (Anonim 2014).

Yapılan çalışmaların bazıları incelendiğinde ABD halkının % 14,3'ünün etkisinde kaldığı 24 saat boyunca ortalama manyetik alan değeri 0,2  $\mu\text{T}$ 'dır. Halkın % 6,3'ünün 0,3  $\mu\text{T}$ 'lık, % 2,4'ünün 0,5  $\mu\text{T}$ 'lık ve % 0,5'inin ise 1  $\mu\text{T}$ 'lık manyetik alan etkisinde olduğu saptanmıştır. Halkın % 25'i gün içinde 1 saatini 0,4  $\mu\text{T}$ 'dan, halkın % 9'u ise 0,8  $\mu\text{T}$ 'dan yüksek manyetik alan etkisinde geçirmektedir (Zaffanella ve Kalton 1998, Zaffanella 1993).

Taiwan'da yapılan bir araştırmaya göre orada yaşayan çocukların %7,3'ünün 0,3  $\mu\text{T}$  ve % 5,4'ünün 0,4 $\mu\text{T}$ 'dan daha büyük manyetik alan etkisinde kaldığı tespit edilmiştir (Li ve ark. 2007). İspanya'da (kentsel yerleşim alanında) yapılan elektromanyetik alan ölçümlerinde alınan ölçümlerin %7,3'ü ICNIRP limit değerlerinin üzerinde bulunmuştur (Paniagua ve ark. 2007).

Ankara'da yüksek gerilim hatlarının altındaki manyetik alan değeri 0,9  $\mu\text{T}$  olarak tespit edilmiştir (Vaizoğlu ve ark. 2007). Ankara ve İstanbul'un bir takım bölgelerinde yapılan çalışmada nüfusun % 46,6'sının 0,3  $\mu\text{T}$  değerinin üzerinde manyetik alandan etkilendiği tespit edilmiştir (Fırlarer ve ark. 2007).

Bursa'nın Nilüfer ilçesinde gerçekleştirilmiş, kentsel elektromanyetik alan çalışması Türkiye'de var olan elektromanyetik kirliliğin Avrupa'da yer alan ülkelerin büyük bir bölümünden daha fazla olduğunu göstermektedir (Anonim 2014, Pala ve ark. 2007).



EM etki büyük şehirlerdeki konutlarda, seyrek nüfuslu ve kırsal alandaki konutlara göre daha fazladır. Yaşça eski olan yapılar, içinde iş yerlerini de bulunduran yapılar ve elektrik enerji hatlarına yakın mesafelerde bulunan konutlarda elektromanyetik alan etkisi çok daha fazladır (Li ve ark. 2007). Elektromanyetik alan etkisinin en düşük olduğu zaman gece olarak kayıtlara geçmekte ve en fazla olduğu zamanlar ise iş ortamındaki geçirilen saatlerde olmaktadır (Anonim 2002).



## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Teknolojinin gelişmesiyle beraber EMA'nın biyolojik etkileri tartışılmaya açık bir konu haline gelmiştir. Çocuklar, yetişkinlere göre EMA'ların etkilerine çok daha fazla duyarlıdır. Yapılan çalışmalara göre 15 yaşın altındaki çocukların  $0,4 \mu T$  ve daha yüksek manyetik alan etkisinde lösemi riski 2 kat artmaktadır (Türkkan 2009).

Keysan tarafından yapılan çalışmada Balıkesir il merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nde 100 kHz ile 3GHz aralığındaki "drive test" yöntemiyle elektromanyetik alan ölçümleri yapılmış ve ölçümlere dayanarak bir tematik harita oluşturulmuştur (Keysan 2015).

Gaziantep ilindeki 900,1800 ve 2100 MHz frekansında çalışan baz istasyonlarının elektromanyetik alan ölçümleri yapılmış ve bu ölçümün ICNIRP standardıyla karşılaştırılmıştır (Yıldız 2014).

Brezilya'da telekomünikasyon sistemi kaynaklı EMA'ların oluşturduğu çevresel sorunlar araştırılmıştır. 1996'dan 2006 yılına kadar baz istasyonu kümeleri ve neoplazi vakalar arasında bir ilişki kurulmuş ve insanların EMA'lardan etkilenme seviyeleri ölçülmüştür (Dode 2011).

Uzun süreli elektromanyetik alan etkisinde kalan bireylerin sağlık problemlerini saptamak için iki gruptan oluşan bir anket çalışması yapılmıştır. Bunlardan ilki 1128 kişiyle yürütülen bir anket çalışmasında yüksek gerilim hatlarına oturma mesafelerine göre yakın ve uzak olacak şekilde değerlendirilmiştir. Bunun yanında ikinci grup ise 196 kişi olarak elektromanyetik alandan mesleki etkilenimine göre gruplandırılmıştır. Uygulanan anket sonuçlarına ilişkin değerlendirmelerde bulunmuştur (Düzgün 2009).

Ankara ilinde baz istasyonları ve radyo-TV vericilerinin olduğu bölgelerde elektromanyetik alan ölçümleri yapılmış, bu vericilerin yoğun olduğu bölgelerde elektromanyetik alan değerinin normal yaşam alanlarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür (İnce 2007).

Özgümüş tarafından yapılan çalışmada ise Zonguldak kent merkezinin 100 kHz ve 3GHz frekans aralığındaki elektromanyetik kirlilik analizi yapılmıştır. Yapılan ölçümler drive test yöntemi ile gerçekleştirilmiş olup, ölçüm değerlerine istinaden 2 ve 3 boyutlu elektromanyetik kirlilik haritaları oluşturulmuştur. Kent genelindeki ölçüm sonuçlarının ulusal ve uluslararası limit değerlerinin altında kaldığı görülmüştür (Özgümüş 2010).

30 yaşın altında elektromanyetik alan etkisinde çalışan elektrik personeli, telekomünikasyon şebekelerinde çalışan ve elektrik enerjisi nakil hatlarında çalışan erkeklerde meme kanseri riskinin normalden 6 kat fazla olduğu görülmüştür (Anonim, 2014, Demers ve ark. 1991).

Trabzon ili Boztepe muhitinde radyo- TV verici istasyonları çevresinde oluşturduğu elektrik alan değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler sınır değerler ile karşılaştırılmış ve iki ışınli yayılım modeli ile yapılan hesaplamalarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların hepsinin mevcut sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür (Eyüboğlu 2010).

Cansız tarafından yapılan çalışmada Diyarbakır il merkezinin elektromanyetik kirlilik analizi yapılmıştır. 100 KHz – 3 GHz frekans aralığında drive test yöntemiyle yapılan elektrik alan ölçümleri ulusal ve uluslararası limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak yapılan ölçümler harita üzerinde gösterilmiştir (Cansız 2010).

Hastane ortamlarındaki elektronik cihazların elektromanyetik girişimden etkilenmesini değerlendirmek ve EMA'ların insan sağlığına etkilerini saptayabilmek için Karadeniz Teknik Üniversitesi Farabi Hastanesi'nde elektromanyetik alan değerleri ölçülmüştür. Yapılan çalışmada hastane civarında bulunan orta dalga radyo verici istasyonlarının bulunması nedeniyle, bazı zaman dilimleri içindeki tıbbi elektronik cihazların etkilendiği görülmüştür (Yaman 2011).

Semerci tarafından yapılan çalışmada Samsun il merkezinde elektromanyetik alan ölçümleri yapılmış ve bu ölçümler interpolasyon tekniği ile elektromanyetik kirlilik haritalarına dönüştürülmüştür (Semerci 2011).

Yüksek gerilim hatlarında bir başka EMA kaynağıdır bu nedenle yüksek gerilim hattı kaynaklı 50 Hz'lik elektromanyetik alanlar incelenmiş olup, belirli bölgelerde buna ilişkin ölçümler yapılmıştır. Elektromanyetik alanın insan sağlığı üzerine etkileri hakkında araştırma yapılmış bu konu hakkında Türkiye'nin durumu değerlendirilmiştir (Güçlü 2011).

Kent bazında elektroanyetik kirlilik analizi yapılabilmesi için Karaman il merkezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesi ve Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Yerleşkesi'nde 100 kHz-3GHz frekans aralığında drive test yöntemiyle elektromanyetik alan ölçümleri yapılmış. Yapılan bu ölçümler kullanılarak 2 ve 3 boyutlu elektromanyetik kirlilik haritaları oluşturulmuştur (Polat 2013).

Dilek tarafından yapılan çalışmada Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüsü'nde 21 noktada elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler nezdinde bir sayısal harita oluşturulmuş, elektromanyetik kirlilik seviyesinin diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (Dilek 2014).

Hollanda'da bir hastanedeki elektromanyetik kaynaklar incelenmiş olup, bu kaynakların tıbbi elektromanyetik cihazlar üzerinde yarattığı ve yaratabileceği sorunlar tartışılmıştır. Bu çalışmaya istinaden bir risk analizi yöntemi önerilmiş ve deneyler üzerinde uygulanmıştır (Jeunink 2017).

Erciyes Üniversitesin'de haberleşme sistemlerinden kaynaklanan elektromanyetik kirlilik tespit edilmiş, ölçülen elektrik alan değerleri ulusal ve uluslararası standartlarda yer alan değerlere göre kıyaslanmıştır (Sorgucu 2011).

Sarıkahya tarafından yapılan çalışmada yaygın kullanılan elektromanyetik alan kaynaklarının, farklı mesafelerdeki etkileri ve elektromanyetik alan şiddetleri tespit edilmiştir. Tespit edilen bu değerler ülkemizdeki geçerli sınır değerler ile karşılaştırılmıştır (Sarıkahya 2014).

Balıkesir il merkezinde mobil iletişim cihazları kaynaklı elektromanyetik kirliliğin tespiti

için baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik alan değerleri ölçülmüştür. Bu ölçüm değerleri ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılmış, mevcut durumun limit değerlerin altında kaldığı görülmüştür (Bayram 2017).

EMA`ların eğitim öğretim faaliyetinin yürütüldüğü yerlerdeki etkisini gözlemlemek için bir takım çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda Edirne ili Merkez ilçesinde yer alan ilkokullardaki elektromanyetik kirlilik analiz edilmeye çalışılmıştır (Balcı 2017).

Polat tarafından yapılan çalışmada Sinop il merkezinin elektromanyetik kirlilik düzeyi araştırılmıştır. Bu araştırma esnasında 46 noktada elektrik alan ölçümü yapılmış elde edilen sonuçların ulusal limit değerlerinin altında kaldığı görülmüştür (Polat 2017).

## **2.1 Elektromanyetik Alanların Sağlık Etkilerini İnceleyen Çalışmalar**

Elektromanyetik alanların canlı sağlığına etkileri, çok düşük frekanslı elektromanyetik alan etkilenimi ile çocukluk çağındaki kanser vakaları arasındaki ilişkiyi gösteren çalışmalar sonrası dikkatleri üzerine çekmiştir. Bu çalışmaların sonrasında elektromanyetik alanların canlılara olan etkilerini inceleyen çalışmalarda ciddi seviyede bir artış olduğu görülmektedir (Çerezci ve ark. 2012).

Hayvanlar üzerinde elektromanyetik alanların sağlık üzerine etkilerini inceleyen deneyler, insanlar üzerinde yürütülen çalışmalar, hücresel bazdaki incelemeler ve bilgisayar simülasyonları şeklinde azımsanmayacak sayıda çalışma yürütülmüş ve hali hazırda yürütülmeye devam etmektedir (Çerezci ve ark. 2012).

### **2.1.1 Çocukluk kanserleri**

Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan Elektromanyetik alan ile çocukluk çağındaki lösemilerin ilişkisi; 16 yaşın altındaki çocuklarda 1999 ile 2007 yılları arasında araştırılan olgu-kontrol ve meta analiz çalışmalar neticesinde riskin 1,6 ile 8 kat arasında arttığı gösterilmiştir. İnsanların yatak odalarında manyetik alan seviyesinin 0.4  $\mu$ T değerinde ya da bundan daha yüksek olanların, 0.1  $\mu$ T seviyesinin altında olanlarla

karşılaştırıldığında AML ve ALL rahatsızlıkları için riskin 2.6 ile 4.7 kat arasında arttığı saptanmıştır. Gece boyunca 0,2  $\mu$ T şiddetinde ve bundan daha yüksek bir EMA etkisine maruz kalan bireylerde akut lösemi riski 3,2 kat artmaktadır (Çerezci ve ark. 2012). Yapılmış olan bu çalışmalara ilişkin tablo çizelge 2.1`de verilmiştir.

Galler ve İngiltere`de yapılan bir çalışmada 0 ile 14 yaş aralığındaki 9700 kişisi lösemi hastası olmak üzere 29081 adet kanserli vaka ve aynı sayıdaki kontrol grubunda incelenmiştir. Yapılan bu olgu-kontrol çalışmasında, lösemi açısından, hasta bireylerin annelerinin hamileliği ve doğumları esnasında ev adreslerinin yüksek gerilim hatlarına 200 metre ve daha yakın mesafede olan bireylerin, 600 metreden uzak olan bireyler ile karşılaştırıldığında lösemiye yakalanma oranınının 1,69 kat daha fazla risk altında olduğu bildirilmiştir (Anonim 2014).

**Çizelge 2.1.** Yüksek gerilim hattından kaynaklanan elektromanyetik alan ile çocukluk çağındaki lösemi ilişkisini araştıran %95 güven aralığı ile çalışma örnekleri (Türkkın 2009)

Yıl	Çalışma Tipi	Yaş Grubu	Olgu Sayı	Kontrol Sayı	Değer ( $\mu$ T)	Uzaklık (metre)	Risk Oranı
1993	Olgu/Kontrol	0-15	141	554	$\geq 0,2$	-	2,7 (1,0-6,3)
					$\geq 0,3$	-	3,8 (1,4-9,3)
1999	Olgu/Kontrol	0-14	29	33	$\geq 0,14$	-	4,5 (1,3-15,9)
2000	Meta analiz	0-14	2656	7084	$\geq 0,14$	-	1,7 (1,2-2,3)
2000	Meta analiz	0-14	3247	10400	$> 0,3$	-	2,0 (1,2-3,1)
2001	Olgu/Kontrol	0-14	514	1301	$\geq 0,2$	-	3,2 (1,3-7,8)
					$\geq 0,4$		5,5 (1,1-26,6)
2005	Olgu/Kontrol	0-14	9700	9700	-	<200	1,6 (1,1-2,4)
					-	200-599	1,2 (1,0-1,47)
2006	Olgu/Kontrol	0-15	251	495	$> 0,4$	-	4,67 (1,1-19,0)
2007	Olgu/Kontrol	0-94	854	854	-	<300	3,23 (1,3-8,3)
2007	Olgu/Kontrol	0-14	60	59	$> 0,45$	-	3,6 (1,1-12,4)
						<500	8,8 (1,7-58,4)
2007	Meta analiz	0-16	1842	3099	$\geq 0,4$	-	1,9 (1,1-3,3)

### 2.1.2 Yetişkin kanserleri

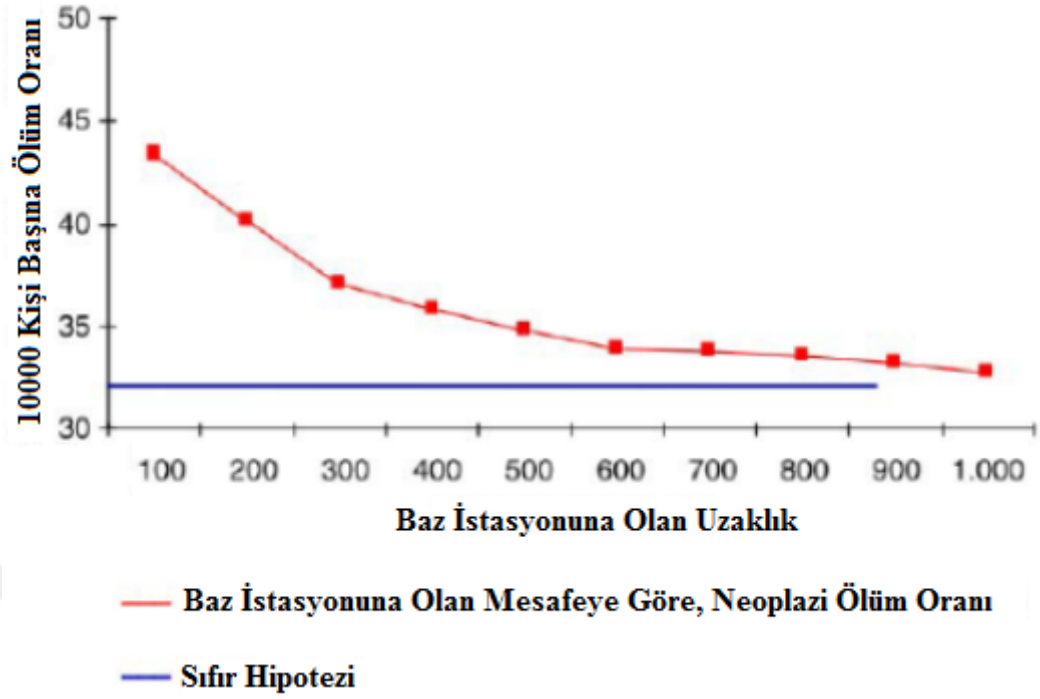
Elektromanyetik alan etkisi ile meme kanseri arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmalar da literatürde mevcuttur. Bireylerin çalıştıkları yerlerdeki mesleki etkilenim ile meme kanserine yakalanma olasılığının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Kliukiene ve ark. 2004).

Benzer şekilde çalışmalar elektrik işlerinde çalışan işçilerin lösemiye yakalanma olasılığındaki artışı gösterilmiştir (Çerezci ve ark. 2012). Elektrikli battaniyeyi uzun süreli kullanan kadınların, endometrium kanserine yakalanma oranı % 36 daha fazladır (Abdel ark. 2007). 41 araştırmaya dayanan meta-analizde işyerlerinde manyetik alan etkisinin; beyin tümörüne yakalanma oranında %10'luk, lösemiye yakalanma oranında %13'luk risk artışı olduğunu göstermiştir (Anonim 2014).

Belo Horizonte, 2007 yılında Latin Amerika bölgesinde yaşam kalitesi en iyi olan ve sağlık sistemi çok iyi şehir seçilmiştir. Belo Horizonte şehrini konu alan çalışmada şekil 2.1'de de görüldüğü gibi 1996 ile 2006 yılları arasındaki 7191 adet kanser hastalığı neticesinde gerçekleşen ölümlerin %50'sinin, GSM baz istasyonlarına 100 metre ve daha yakın mesafede yaşayan insanlarda görülmüştür. Çizelge 2.2'de kanser neticesindeki ölüm hızı, şehir genelinde yaklaşık 0.0032'dir. Baz istasyonuna 100 metre mesafede ikamet edenlerde ise yaklaşık 0.0043'tür. Görüldüğü gibi baz istasyonuna yakın mesafede yaşayanlarda bu oran yaklaşık %35 daha yüksektir (Dode 2011).

**Çizelge 2.2.** Baz istasyonuna olan mesafeye göre kansere bağlı ölüm hızının değişimi (Dode 2011).

Mesafe	Ölüm Sayısı	Toplam Nüfus	Ölüm hızı (Onbinde)	Görel Risk
<100	3569	821.890	43,42	1,35
<300	5950	1.602.869	37,12	1,15
<500	6724	1.934.032	34,76	1,08
<1000	7044	2.148.327	32,78	1,00



**Şekil 2.1.** Belo Horizonte için baz istasyonuna olan mesafeye göre kanserden ölüm hızları (1996 ile 2006 yılları arasındaki doz cevap ilişkisi) (Dode 2011).

### 2.1.3 Depresyon ve intihar

Yüksek gerilim hatlarına yakın yerlerde yaşayan insanlarda, göreceli olarak daha uzakta ikamet eden insanlara göre depresyon görülme olasılığında 4,7 ile 9,4 kat arasında artış görüldüğü bildirilmiştir. Elektrik işlerindeki personeller ile iletim hatlarında çalışanlar ve 50 yaşını geçmemiş bireylerde ise diğer yaş ve meslek gruplarına göre intihar vakasının görülme olasılığının daha fazla olduğu bildirilmiştir (Verkasalo 1997, Van Wijngaarden ark. 2000).

### 2.1.4 Alzheimer ve bunama

Yüksek elektromanyetik alan seviyesi alzheimer hastalığı için risk teşkil etmektedir. Elektromanyetik alanın birikme etkisinin olduğu ve yıl boyunca 10  $\mu$ T'lık birikme etkisinde bunama olasılığının % 5,7 arttığı, alzheimer hastalığına yakalanma olasılığının ise % 9,4 arttığı görülmüştür (Anonim 2014).



### **2.1.5 Melatonin salınımı ve Gebelik**

Elektromanyetik alan etkisinin vücudun kansere karşı doğal bir koruma mekanizması olan melatoninin salgısının, yapılan çalışmalar neticesinde manyetik alan etkisi ile salgının konsantrasyonunda bir azalma olduğu gözlemlenmiştir (Anonim 2014). Manyetik alan etkisinin artması ile gebelik esnasında düşük riski arasında ilişki gözlemlenmiştir (Li ve ark. 2002). Bunlara paralel olarak elektromanyetik alan ile doğum esnasında meydana gelen yemek borusu anomalileri arasındaki ilişki yapılan çalışmalarla bizlere bildirilmektedir (Blaasaas 2003).

### **2.1.6 Bağışıklık zaafı**

Kanserli tümör hücrelerinin ortadan kaldırılmasında görev alan hücrelerin 50 Hz frekansındaki manyetik alan içinde etkinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Çalışma ortamları dolayısıyla işçilerde 1  $\mu$ T şiddetinin üzerinde EMA maruziyeti ile kan dolaşımında bulunan doğal savunucu hücrelerin aktivitelerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir (Canseven ve ark 2006, Gobba 2009).

### **2.1.7 Davranış sorunları**

Gebelik esnasında cep telefonu kullanılan ortamda bulunan ancak kendileri kullanmayan annelerin çocuklarında davranış sorunlarının görülme ihtimali normale göre %40 daha fazla iken, gebelik sırasında hem annesi hem de bulunulan ortamda cep telefonu kullananlarda ise davranış sorunu görülme ihtimali normale göre %50 daha fazladır (Anonim 2014).

### **2.1.8 Diğer rahatsızlıklar**

Yüksek gerilim hatlarına, 30 metreden daha yakın yaşayan bireylerde eklem ağrıları, sinirsel rahatsızlıklar ve üst solunum yolu enfeksiyonları hastalıklarının görülmesi arasında bir anlamı ifade eden sonuçlar olduğu görülmüştür (Elhasoğlu 2006). Parkinson hastalarının ölüm oranının nüfusun genelinden 1,23 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Anonim 2014). Elektromanyetik alan etkisinde olan kırsal yaşam alanı

ve köylerde kayıtlara geçen baş dönmesi, migren ve baş ağrısı gibi rahatsızlıklar istatistiksel olarak dikkate almaya değer bir oranda çok daha fazladır (Preece ve ark. 2007).

## **2.2 Elektromanyetik Alan Etkisi ve Elektromanyetik Alan Kaynakları**

Elektromanyetik alan çok çeşitli kaynaklar tarafından üretilebilir. Her elektromanyetik alanın oluşturulması, elektromanyetik ortama katkıda bulunur. Canlılara etkisi düşünüldüğünde bu katkılarından yalnızca birkaç kaynak önemlidir. Elektromanyetik alan kavramı doğal EMA ve yapay EMA olarak iki ana sınıflandırmayla ele alınmaktadır. Dünya yüzeyinin üzerinde karşılaşılan doğal elektrik alan zamana ve yere göre büyük ölçüde değişir. Bu doğal alanın ana nedeni, ihmal edilebilir iletkenliğin, hava ile ayrılan mükemmel bir iletken olarak hareket eden dünya ve iyonosfer arasında gerçekleşen yük ayrımıdır. Yapay elektromanyetik alan ise insan yapımı RF elektronik cihazlar ve sistemler kaynaklı meydana gelmektedir (Anonim 2010c, Anonim 2009, Jeunink 2017).

İyi bilinen bir doğal kaynak yeryüzünün jeomanyetik alanıdır. Bu kaynak, Kanada'daki Ellesmere Adası yakınında ve diğeri Antarktika'daki bir direğe sahip büyük bir manyetik dipol olarak kabul edilebilir. Hem alanın gücü hem de konum değişime tabidir. İyi bilinen bir diğeri doğal kaynak yıldırımdır. Yıldırım, en enerjik doğal EM alan fenomenlerinden biridir. Yıldırım çarpmadan önceki an, gök gürültüsü bulutları ile yeryüzü arasındaki potansiyel fark 100 MV mertebesindedir. Bir fırtınada, 1010 J'lük EMA enerjisi potansiyel olarak geçiş içindedir (Jeunink 2017).

Elektromanyetik alanın şiddeti yükseklikle birlikte azalır, 100 m yükseklikte yaklaşık 100 V/m, 1 km'de 45 V/m ve 20 km'de 1 V/m'den daha düşük değerlerle düşer. Gerçek değerler yerel sıcaklığa, nem profiline ve iyonlaşmış kirleticilerin varlığına bağlı olarak geniş ölçüde değişir. Gök gürültüsü bulutlarının altında zemin seviyesinde ve hatta gök gürültüsü bulutları yaklaşırken bile geniş alan değişimleri meydana gelir, çünkü bir bulutun alt kısmı normalde negatif olarak yüklenirken üst kısmı pozitif bir yük içerir (Anonim 2009).

Elektromanyetik alan etkisi, güç yoğunluğu ve uzaklığın yanı sıra; etkinin süresi, uzak veya yakın alan olarak etkinin tipi, kaynak frekansı, elektrik alan ve manyetik alanın şiddeti ile dalganın iletilmesinde kullanılan modülasyon tipi gibi fiziksel özelliklerine göre belirlenir. Canlı sistemlerdeki azami RF enerji etkileşimi; canlıya nüfuz etme yani penetrasyon ve dağılımı, enerjinin emilimi, gücün depolanması, oluşan elektrik ve manyetik alanın özellikleriyle belirlenebilir. Buradaki etkileşimin miktarı, canlı vücudunun boyutu ve diğer fiziksel özellikleri ile ilişkili olacak şekilde farklılık gösterebilmektedir (Anonim 2010c).

Isı etkisi; lokal veya bütün vücudun etkilenmesinden kaynaklanan canlı sistemlerdeki emilimi veya RF enerjinin depolanmasıyla oluşur. Elektromanyetik etki sebebiyle canlı vücudundaki emilim; canlının kütlesine, vücudun elektriksel iletkenlik ve geçirgenliğine bağlıdır (Anonim 2010c).

RF enerjisi kaynaklı kısa süreli etkinin, dokuda ısının artmasına sebebiyet vermesi tek başına büyük bir öneme sahip değildir. Üzerinde durulması gereken husus dokudaki ısı artışının ne kadar süre içinde gerçekleştiğidir ve bu da dokunun özgül emilim oranı (SAR) ile orantılıdır. Uzun zaman dilimi boyunca etki neticesinde oluşan ısının artması; dokuların ısı düzenlemedeki tepkisine, canlının yapısal özelliklerine, aktif telafi sürecine ve dokuya gelen dalganın açısına bağlıdır. Vücudun bir kısmında olan veya lokal bir bölgenin etkileniminde EMA enerjisinin emilimi çok fazla olduğunda buradaki hızlı gerçekleşen ısı artışı ve lokal dokularda hasarlar meydana getirebilir (Anonim 2010c).

Standart şartlar altında, EMA etkisi ile insanlar üzerinde ve laboratuvar hayvanlarında meydana gelen 1°C değerinde sıcaklık artışının, SAR değerinde 4 W/kg`lık bir enerjinin soğurulması neticesinde oluştuğu tespit edilmiştir, vücuttaki bu ısı artışı tolerans değerleri içinde kaldığı sürece metabolizmanın ısı düzenleme yöntemleriyle dengelenebilir. 4 W/kg`lık SAR değeri, ortamda mevcut olan ısı ve nemin etkisiyle 1 °C`lık artışa ve izin verilen seviyenin çok üzerinde ısı artışlarına yol açabilir. Bu şekilde canlı vücudunda ısı kaynaklı tepkiler hızlanabilir. Bu ısı etkisinden korunmak için,

Dünya`da geçerliliği yaygın olan ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından da kabul görmüş ICNIRP`nin yayınlamış olduğu sınır değerlere uymak gerekmektedir. Belirlenen bu sınır değerler, insan için referans alınan değerler hesaplanırken vücuttaki sıcaklık artışı 1°C`den fazla alınmıştır, bu sebeple belirlenmiş bu sınır değer ihlal edilmesi sağlık açısından zararlı kabul edilmektedir (Anonim 2010c).

### **2.2.1 İnsana Yakın Yapay Kaynaklar**

Hücreli haberleşme sistemi olan GSM; 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz ve 2600 MHz`de kapsama alanının genişletilmesi ve kanal kapasitesini artırabilmek için çok sayıda GSM baz istasyonu ile servis sağlamaktadır. Baz istasyonları yayılım yaptığı alanda, bilhassa yerleşim bölgeleri içinde yoğun bir elektromanyetik alan etkisine yol açmaktadır. Baz istasyonları, yayılım yaptığı dalga türü olarak RF olmaları sebebiyle elektromanyetik dalga spektrumunda iyonlaştırmayan bölgede yer alırlar (Sarıkahya 2014).

Avrupa`da CENELEC tarafından standartlaştırılmış yöntemler cep telefonlarının test edilmesinde kullanılmaktadır. İnsan vücudunda kafa bölgesi için cep telefonun SAR değeri 2 W/kg`dır. Cep telefonlarında sinyalin zayıf olmadığı anlarda haberleşme anında üretilen güç 900 MHz GSM şebekesi için 250 mW dolaylarındadır. Buna rağmen cep telefonu testleri maksimum gücü ürettiği 2W mertebelerinde yapılmıştır. Cep telefonu marka,model gibi özelliklere bağlı olarak, insan vücudunda en yüksek bölgesel SAR değeri 10 gram dokuda 0.2 ile 1.5 W/kg arasındadır (Anonim 2010c).

Elektromanyetik alanlar ayrıca hızlı elektrik ve doğru akım elektrik kullanan hafif raylı sistemler dahil olmak üzere birçok geleneksel elektrikli raylı sistem tarafından üretilir. 600 V DC yeraltı sistemlerindeki veya tramvaylardaki hatlardan 5 m`de yaklaşık 30 V/m statik alan kuvvetleri bildirilmiştir. 1.5, 3 ve 6 kV DC`de çalışan trenlerde, 300 V/m`ye kadar statik alanlar oluşabilir. Genel olarak, kategoriden bağımsız olarak, ulaştırma sistemleriyle ilişkili elektrik alanları ayrıntılı bir şekilde bildirilmemiştir ve bunlar hakkında endişeler tutarlı bir şekilde ifade edilmemiştir. Düşük ve orta gerilim (genelde birkaç kV`den az) ile enerjilendirilmiş iletkenler, yolculardan veya işçilerden

yeterince iyi ayrılır ve üçüncü ray olarak yerleştirilir. Koruyucu, yolcu ve operatörün araya giren metalik yapıları(bölmeler) tarafından sağlanır. Yolcular tarafından taşınabilecek kaynaklar hariç, araçlar içindeki elektrik alanlar genel olarak pencerelerin yakınında en yüksektir ve bu değer 100V/m'nin altındadır. Birkaç kV şarj potansiyeli iletken olmayan halıların üzerinde yürüyerek de birikebilir ve vücutta 10 - 500 kV/m aralığında alan kuvvetleri oluşturur (Anonim 2009).

### **2.2.2 İnsana Uzak Yapay Kaynaklar**

Günlük hayatta iletişim ihtiyacının doğurduğu bazı kaynaklar insanların istemleri dışı EMA etkisine yol açmaktadır. Bunların başında TV ve Radyo vericileri ile GSM baz istasyonları gelmektedir. Radyo-TV vericilerdeki ana amaç, verici anten etrafındaki geniş bir alana elektromanyetik enerjiyi yaymaktır. Kapsama alanını azami hale getirmek beraberinde yüksek radyo frekans gücü gerektirir. Çıkış güçleri itibarı ile 88-108 MHz aralığında yayın yapan FM Radyo vericileri, 174-230 MHz frekans aralığındaki VHF ve 470-860 MHz frekans aralığındaki UHF TV vericilerinin genellikle yerleşim yerleri yakınında, büyük şehirlerde ise kaçınılmaz şekilde yerleşim alanı içinde kalması ve 100 W ile başlayan ve 600 kW'a kadar ulaşan çıkış güçlerine sahip olması nedeni ile önem arz etmektedir (Anonim 2010c, Sarıkahya 2014).

50 ile 800 MHz arasında çalışan TV ve FM radyo vericilerinde tek bir antenin gücü, 10 ile 50 kW aralığında iken, 300 kHz ile 3 MHz arasındaki orta frekans bandında ve 3 MHz ile 30 MHz arasındaki yüksek frekans bandında antenin çıkış gücü 600 kW mertebesine kadar çıkabilir. Radyo-TV verici istasyonlarına ait antenlerin RF enerji yayılımı sürekli dir. Bu istasyonlar güç düzeyi yüksek olan aktif kaynaklardır (Anonim 2010c).

Radyo vericileri 0,3 – 30 MHz frekans bandında elektromanyetik dalgaları iyonosferin yansıtma özelliğini kullanarak iletir. İletilen sinyali alıcıya ulaştırmak için kayıplar minimum olacak şekilde yayılım yapılmalı ve aynı zamanda yüksek güçlere sahip çok daha büyük anten yapılarını kullanmaktadırlar. Genel halk maruziyeti, yayılım yapan antenin birkaç yüz metre mesafesine kadar bir bölüm yoğun olarak yüksek alan

seviyelerinde olabilir. Açık alanda kullanılan yüksek frekanslı anten çeşitleri diğer maruziyet kaynaklarıdır. (Anonim 2010c).

GSM'deki bütün standartlar, hücrel ağ mantığıyla çalışır ve dolaşım esnasında hücreler arasında kesinti olmadan geçişler yapılabilmektedir. Dolayısı ile kapsama alanının içinde kalındığı durumda, cep telefonu ile yapılamakta olan telefon konuşması herhangi bir kesintiye uğramadan dünyanın tümünü dolaşmak mümkün olmaktadır. GSM'de kullanılan hücreler üç çeşitte ele almak mümkündür. Kullanılan hücrenin tipi, hücreden faydalanan kullanıcı sayısı ve gezgin istasyonların hızları ile ilişkilidir. Bu üç çeşit hücre tipini sıralayacak olursak makro hücreler, mikro hücreler ve piko hücreler olarak boyutlarına göre kategorize edebiliriz (Sorgucu 2011).

Makro hücreler, orta düzeyli trafik yoğunluğunun olduğu ve gezgin istasyon hızlarının çok yüksek olmadığı ortamlarda azami 35 km' lik bir yarıçapta etkinliğini gösteren hücre tipleridir. Çıkış güçleri yaklaşık 20-30 watt mertebelerindedir. Mikro hücreler trafik yoğunluğunun daha yoğun olduğu yerlerde (örneğin kent merkezleri gibi) mevcut kapasiteyi destekleme amacı için kullanılmaktadır. Mikro hücrelerdeki antenlerin boyutları, makro hücre antenlerine kıyasla daha küçük olmaktadır. Mikro hücreler 300 metre ile 1 km arasındaki bölgeleri kapsarlar. Metrekareye düşen insan sayısının çok fazla olduğu ortamlarda ise bu iki hücre tipine ek olarak piko hücreler kullanılır. Piko hücreler 10 ile 50 metre arasında değişen bir kapsama alanı sunabilen, trafik yoğunluğunun fazla ve gezgin istasyon hızlarının düşük olduğu geniş bant uygulamalarında kullanılmaktadır (Sorgucu 2011).

Sürekli yayın yapan Radyo ve TV vericileri tarafından kullanılan yayın frekansları çizelge 2.3'teki gibidir.

**Çizelge 2.3.** Elektromanyetik Alan Oluşturan Bazı Yapay Kaynakların Frekansları (Anonim 2010c)

Frekans Bandı (MHz)	Hizmet	Uygulama
<b>87.5 - 108</b>	Yayınçılık	<b>FM RADYO</b>
<b>108 - 118</b>	Hava Seyrüsefer	ILS, VOR
<b>118 - 137</b>	Hava mobil haberleşme	Hava mobil haberleşme sistemleri
<b>137 - 138</b>	Meteorolojik Yardım	
<b>138 - 144</b>	Hava mobil haberleşme	
<b>144 - 146</b>	Amatör	
<b>146 - 156</b>	Kara mobil telsiz	Kara mobil telsiz sistemleri
<b>156.7625 - 156.8375</b>	Deniz haberleşmesi	Gemi-kıyı haberleşmesi
<b>156.8375 - 174</b>	Kara mobil telsiz	Kara mobil telsiz sistemleri
<b>174 - 216</b>	Yayınçılık	<b>Analoğ TV vericileri</b>
<b>216 - 230</b>	Yayınçılık	T-DAB
<b>230 - 380</b>	Telsiz haberleşmesi	
<b>380 - 385</b>	Acil Durum Haberleşmesi	Acil Durum Haberleşmesi
<b>385 - 390</b>	Telsiz haberleşmesi	
<b>390 - 395</b>	Acil Durum Haberleşmesi	Acil Durum Haberleşmesi
<b>395 - 400</b>	Telsiz haberleşmesi	Askeri
<b>400 - 470</b>	Kara mobil haberleşmesi	Kara mobil telsiz sistemleri
<b>470 - 790</b>	Yayınçılık	<b>Analoğ TV</b>
<b>790 - 862</b>	Yayınçılık	<b>Analoğ TV (2015 ten sonra mobil)</b>
<b>863 - 870</b>	Kısa mesafe telsiz	Alçak güçlü cihazlar
<b>870 - 890</b>	Telsiz haberleşmesi	
<b>890 - 915</b>	GSM	<b>Cep telefonları</b>
<b>915 - 921</b>	GSM	<b>Cep telefonları</b>
<b>921 - 925</b>	GSM-R	<b>Cep telefonları</b>
<b>925 - 935</b>	GSM	<b>Cep telefonları</b>
<b>935 - 960</b>	GSM	<b>Cep telefonları</b>
<b>960 - 1215</b>	Hava seyrüsefer	TACAN, DME
<b>1710 - 1888</b>	GSM	<b>Cep telefonları</b>
<b>2000 - 2200</b>	GSM	<b>Cep telefonları</b>

### 2.3 Elektromanyetizmanın Tarihsel Gelişimi

Manyetitin bir nesneyi çekebilme gücü yaklaşık 2800 yıl önce Yunanlılar tarafından keşfedildi. Aynı zamanlarda da, Miletli Thales şu anda statik elektrik olarak bildiğimiz konu hakkında ilk defa yazılar yazdı. O yazılarda, kehribar taşının sürtünme kuvvetiyle tüyler gibi hafif nesnelere kaldırabilecek bir güç geliştirmesine nasıl sebep olduğundan bahsediliyordu (Uluaby ve Ravaoli 2015).

1600'lü yıllarda "Elektrik" terimi yazılı metinlerde ilk olarak, fizikçi William Gilbert tarafından Kraliçe I. Elizabeth'e hitaben, sürtünme tarafından oluşturulan elektriksel güç üzerine yapılan bir inceleme yazısı şeklinde kayıtlara geçmiştir (Uluaby ve Ravaoli 2015). Yaklaşık bir yüzyıl sonra, 1733'te Charles-François du Fay, elektriğin iki tip "bir sıvı gibi akışkan", bir pozitif ve diğeri negatif olduğunu ve bu gibi akışkanların püskürtüldüğünü ve bunun yanında zıt akışkanların birbirini çekeceği fikrini ortaya koydu. Buradaki akışkan olarak tanımlanan yapılar, bugün elektrik yükü olarak adlandırılmaktadır (Uluaby ve Ravaoli 2015).

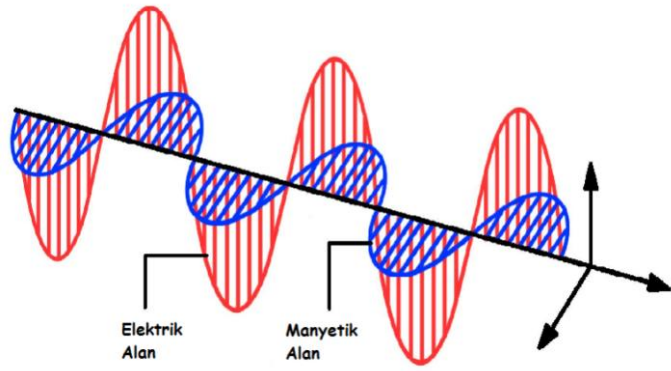
Başlangıçta Leyden kavanozu olarak adlandırılan kondansatörün icadı 1745 yılında, tek bir cihazda önemli miktarda elektrik yükünün depolanmasını mümkün olabileceğini göstermiştir. Birkaç yıl sonra, 1752'de Benjamin Franklin, yıldırımın bir elektrik kaynağı olduğunu göstermiştir. Çalışmalarına takiben Franklin bir fırtınada uçan bir ipek uçurtma yoluyla bir buluttan elektrik yükünü Leyden kavanozuna aktarmayı başarmıştır. Bilimsel çalışmalar ışığında 18. YY'ın sonlarına doğru elektriğe dair toplu bilgileri, Charles-Augustin de Coulomb tarafından, iki elektriksel yük arasındaki kuvvetleri, kutupları arasındaki elektriksel gücü ve bunların arasındaki mesafeyi karakterize eden bir matematiksel formülasyon şeklinde bütünleştirilmiştir (Uluaby ve Ravaoli 2015).

1800 yılı, Alessandro Volta'nın ilk elektrikli aküsünün gelişimine şahitlik etmiştir. 1820 yılına gelindiğinde ise manyetik akımların, manyetik enerjiyi uyarılmasıyla ilgili keşifler için bir afiş yılıydı. Bu bilgi, en erken elektromıknatıslardan ve doğru akım elektrik motorlarından birini geliştiren Joseph Henry tarafından iyi bir şekilde kullanılmıştır.



Kısa bir süre sonra, Michael Faraday ilk elektrik jeneratörünü icat etti. Faraday, özünde, değişen bir manyetik alanın bir elektrik alanını yani bir potansiyel farkı indüklediğini göstermiştir. Değişen elektrik alanın, manyetik alan oluşturduğu ve bu alanların birbirleriyle olan ilişkisi, ilk olarak 1864'te James Clerk Maxwell tarafından önerilmiş ve daha sonra elektromanyetik alanların temelini temsil eden dört ünlü denklemine dahil edilmiştir (Uluaby ve Ravaoli 2015). 1880'lerde Heinrich Hertz tarafından radyo dalgaları aracılığıyla deneysel olarak doğrulanana kadar, Maxwell'in elektromanyetik dalgaların varlığını tahmin eden teorisi, o zamanlar bilim çevreleri tarafından tam olarak kabul edilmemiştir. Elektromanyetizma ailesinin bir başka üyesi olan X-ışınları ise 1895 yılında Wilhelm Rontgen tarafından keşfedilmiştir. Aynı on yıl içinde, Nikola Tesla, alternatif akım motorunu, öncülü olan doğru akım motoruna göre büyük bir ilerleme olarak kabul eden ilk kişiydi. 19. Yüzyılda elektrik ve manyetizma anlayışımızdaki gelişmelere ve bunları pratik kullanıma nasıl çıkaracağımızın bilinmesine rağmen, Joseph Thomson tarafından 1897'ye kadar elektrik yükünün temel taşıyıcısı olan elektronun tanımlandığı ve özelliklerinin nicelleştirildiği görülmemiştir (Uluaby ve Ravaoli 2015).

Zaman içinde bütün bu gelişmelere paralel olarak elektronların elektromanyetik enerjiyi, örneğin ışık gibi parlayarak, bir malzemeden çıkarma yeteneği, fotoelektrik etki olarak adlandırıldı. Elektromanyetik teori; diyot, transistör, entegre devre, lazer, ekran, barkod okuyucu, cep telefonu ve mikrodalga fırın gibi her akla gelebilecek elektronik cihazın tasarımında ve çalışmasında rol oynamaktadır.



**Şekil 2.2.** Elektrik Alan ve Manyetik Alan Yayılımı (Anonim 2018e)

## 2.4 Elektrik Alan

Elektromanyetik kuvvet bir elektrik bileşeni  $F_e$  ve bir de manyetik bileşen olan  $F_m$ 'den oluşur. Elektrik kuvveti  $\vec{F}_e$ , iki büyük farklılıkla yerçekimi kuvveti ile benzerdir. Şekil 2.2'de elektrik ve manyetik alanın yayılımı gösterilmektedir. Elektrik alanının kaynağı, kütle değil, elektrik yüküdür ve her iki tip alan da kendi kaynaklarından uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değişse de, elektrik yükleri pozitif veya negatif polariteye sahip olabilir. Bu da çekici veya itici olabilen bir kuvvet ile sonuçlanır (Uluaby ve Ravaoli 2015, Cheng 1989).

Elektrik alan şiddeti (E), elektriksel kuvvet  $\vec{F}_e$  ile orantılıdır. Eğer  $\vec{F}_e$  newton olarak ölçülürse ve yük q coulomb (C) ise E, metre başına volt (V/m) olarak bulunur. Aynı şekilde elektriksel kuvvet ise Coulomb başına Newton cinsindedir (N/C).

Elektriksel kuvveti hesaplamak için bir test yükü kullanacak olursak, bu test yükü q, pratikte sıfır olamaz. Ayrıca test yükü, kaynağın yük dağılımını bozmayacak kadar küçükse, ölçülen E değeri ile hesaplanan E değeri arasında kayda değer bir farklılık bulunmaz (Cheng 1989).

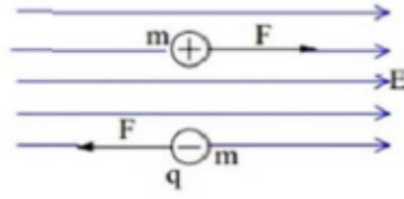
Belirli bir noktadaki yüklü cisme etkiyen kuvvet varsa orada bir elektrik alanının varlığından söz edilebilir.

$$\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q} [V/m] \quad (1)$$

Buradan hareketle denklem (1)'in tersine bir ilişkisi, elektriksel alan E'deki sabit yük q üzerinde F kuvveti etkir (Cheng 1989).

$$\vec{F}_e = q\vec{E} [N] \quad (2)$$

Denklem 2'de  $\vec{E}$  elektrik alan vektörünü, q pozitif deneme yükünü ve  $\vec{F}_e$  ise etkiyen kuvveti temsil eder.



**Şekil 2.3.** Bir elektrik alan içindeki pozitif ve negatif yüklü parçacıkların hareketi (Polat 2013)

Elektrik alan içindeki pozitif yüklü parçacık şekil 2.3`de görüldüğü üzere elektrik alan ile aynı yönde hareket ederken negatif yüklü parçacık ise elektrik alanın yönüne zıt bir şekilde hareket eder (Polat 2013).

İki elektriksel yükün aralarında bir kuvvet meydana getirdiğini keşfeden Coulomb, meydana gelen kuvvetin bu iki elektriksel yükün çarpımıyla doğru orantılı olarak değiştiğini ve aynı zamanda yükler arasındaki mesafenin karesi ile ters orantılı değiştiğini bulmuştur. Bu bulguya dayanarak denklem (3)`deki eşitliği öne sürmüştür;

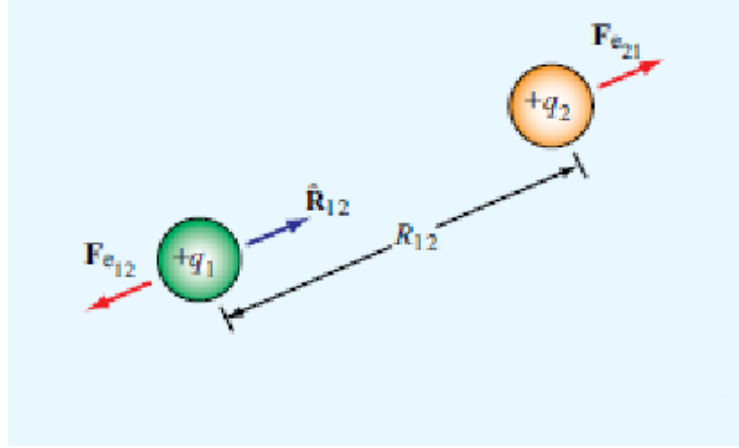
$$\vec{F}_e = k \frac{q_1 q_2}{d^2} \vec{a}_R \quad (3)$$

Burada  $q_1$  ve  $q_2$  elektriksel yüklü parçacıkları,  $d$  iki yük arasındaki mesafeyi, denklem (4) ile ifade edilen  $k$  ise coulomb sabitini ifade eder.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (4)$$

Coulomb sabitindeki  $\epsilon_0$  ifadesi boşluğun dielektrik sabitidir (boşluğun dielektrik sabiti). Şekil 2.4`deki gibi görünen  $q_1$  ve  $q_2$  yüklerinin birbirlerine uyguladıkları kuvvet birbirine eşittir fakat yönleri zıttır.

$$F_{12}=F_{21} \quad (5)$$



**Şekil 2.4.** Boş uzayda iki pozitif yükün oluşturduğu elektriksel kuvvet (Uluaby ve Ravaoli 2015)

Pozisyon vektörünü de basitçe gösterirsek:

$$\vec{OP} = \vec{a}_x x + \vec{a}_y y + \vec{a}_z z \quad (6)$$

$$\vec{OP} = \vec{a}_R R \quad (7)$$

Denklem 6 ve 7 şeklinde olur. Bu iki temel elektromanyetik aksiyom ise boş uzayda elektrik alanın diverjansını ve dönelini belirler.

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho_v}{\epsilon_0} \quad (8)$$

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \quad (9)$$

$\rho_v$  , serbest yüklerin hacim yük yoğunluğu  $\frac{C}{m^3}$  ve  $\epsilon_0$  boşluğun dielektrik sabitidir. Denklem (9) elektrostatik E'nin dönelinin sıfır olduğunu yani elektrik alanların irrotasyonel olduğunu söylemektedir. Denklem 8 ise bir statik elektrik alanın  $\rho_v = 0$  olmadıkça solenoid olmadığını söylemektedir. Bu iki eşitlik koordinat sisteminden bağımsızdır (Cheng 2012). Denklem (8)'in uygun biçimde her iki taraftan rastgele bir S yüzeyi üzerinde alan integrali alındığında

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (10)$$

Denklem 10 şekline dönüşür (Cheng 1989).

Boş uzayda, tek bir noktadan  $q$  test yükünün en basit halini düşünelim;  $q$  elektrik yükünden kaynaklı bir elektrik alan hayali küre yüzeyindeki tüm noktalarda aynı yoğunluğa sahip olmalıdır. Bu şekildeki ifadeyi denklem 11 ve 12 'de olduğu gibi ifade edebiliriz.

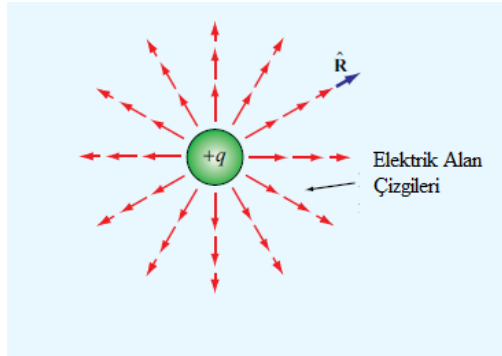
$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \oint_S (\vec{a}_R E_R) \cdot \vec{a}_R ds = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (11)$$

$$E_R \oint_S ds = E_R (4\pi R^2) = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (12)$$

Buradan hareketle boş uzayda tek bir yükün elektrik alanı:

$$\vec{E} = \vec{a}_R E_R = \vec{a}_R \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad [V/m] \quad (13)$$

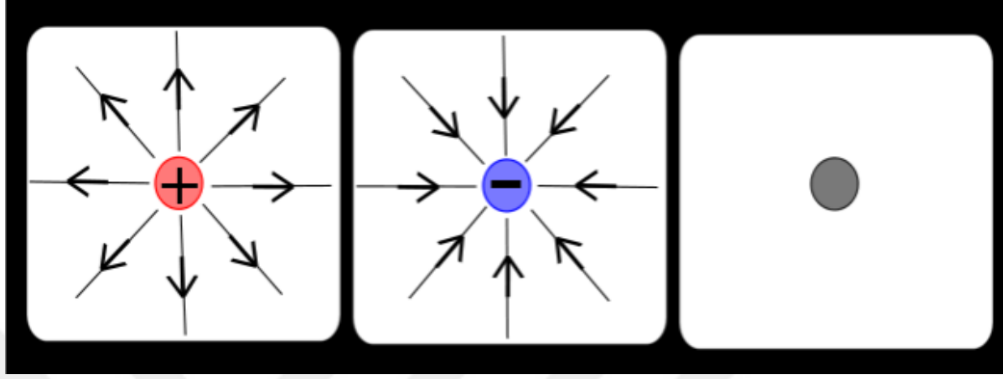
Denklem 13 şeklinde olur (Cheng 1989) ve bu alanı şekil 2.5'deki gibi düşünebiliriz.



**Şekil 2.5.** Noktasal yük sonucunda oluşan elektrik alan (Uluaby ve Ravaoli 2015)

Elektrik alanı kolayca tasvir edebilmek için şekil 2.6'da ki gibi elektrik alan çizgilerini kullanırız. Elektrik alan çizgilerinin özelliklerinden şu şekilde bahsedebiliriz;  $\vec{E}$  elektrik alan vektörüdür ve elektrik alan çizgisine alınan her noktada teğettir. Elektrik alan

çizgilerinin yakın olduğu durumda  $\vec{E}$ 'nin büyük, uzak olduğu durumda ise küçüktür. Elektrik alan çizgileri artı bir yükten çıkar eksi bir yükte son bulur. Elektrik alan çizgilerinin miktarı yük miktarıyla orantılı olarak değişir. Herhangi iki alan çizgisi birbirini kesmez. (Anonim 2018b).



**Şekil 2.6.** Elektrik Alan çizgileri (Anonim 2018f)

Elektriksel geçirgenlik " $\epsilon$ " dielektrik maddelere özgü bir özelliktir ve bir malzeme içinde sınırlanmış yüklerin sayısının bir ölçütü olup, birimi Farad/metre [F/m]'dir. Elektriksel geçirgenlik, serbest uzayın elektriksel geçirgenliği " $\epsilon_0$ " (boşluğun dielektrik sabiti) ve bağlı geçirgenlik veya malzemenin dielektrik sabiti olarak adlandırılan  $\epsilon_r$ 'nin çarpımına eşittir (Seybold 2005, Eyüboğlu 2010). Çizelge 4'te bazı malzemelerin dielektrik geçirgenliği verilmiştir.

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (14)$$

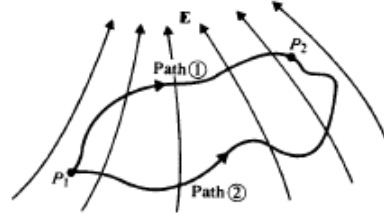
$$\epsilon_0 \cong 8,85 \cdot 10^{-12} [F/m]$$

Elektriksel potansiyel fiziksel bir büyüklüktür ve bir noktadan diğer bir noktaya yük taşımada yapılan iş ile ilgilidir. Elektrik alanı skaler potansiyel farkın gradyanı olarak tanımlar ve elektrik alan şiddetinin birim yüke etkiyen kuvvet olan tanımını da düşündüğümüzde elektrik alan denklem 15'deki gibi ifade edilebilir.

$$\vec{E} = -\nabla V [V] \quad (15)$$

Buradan hareketle şekil 2.7'deki gibi yapılan iş denklem 16'daki gibi olur.

$$\frac{W}{q} = - \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \left[ \frac{J}{C} \text{ yada } V \right] \quad (16)$$



**Şekil 2.7.** Bir elektrik alanında  $P_1$ 'den  $P_2$ 'ye giden iki yol (Cheng 1989)

$P_1$  ve  $P_2$  noktalarındaki potansiyel farkını  $V$  ile ifade edersek, elektriksel potansiyel denklem 17 şeklinde olur (Cheng 1989).

$$V_2 - V_1 = - \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad [V] \quad (17)$$

Ortamdaki dielektrik sabitiyle elektrik alan değerinin çarpılması ile elektrik akı yoğunluğunu bulabiliriz. Denklem 18 bize elektrik akı yoğunluğunu ifade etmektedir. Elektrik akı yoğunluğu  $D$  de elektrik alan gibi bir vektörel büyüklüktür.

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E} \quad [C/m^2] \quad (18)$$

**Çizelge 2.4.** Bazı malzemelerin dielektrik geçirgenlikleri (Ida 2015)

Malzeme	$\epsilon_r$	Malzeme	$\epsilon_r$	Malzeme	$\epsilon_r$
Kuvars	3,8-5	Kağıt	3	Silisli Toprak	3,8
GaAs	13	Bakalit	5	Saf Kuvars	3,8
Naylon	3,1	Cam	6 (4-7)	Kar	3,8
Parafin	3,2	Mika	6	Toprak (kuru)	2,8
Akrilik	2,6	Su	81	Odun(Kuru)	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Polyester Köpük	1,05	Polietilen	2,2	Silikon	11,8
Teflon	2	Polivinil Klorür	6,1	Etil Alkol	25

**Çizelge 2.4.** Bazı malzemelerin dielektrik geçirgenlikleri (İda 2015) (devam)

$BaTiO_3$	10	Germanyum	16	Kehribar	2,7
Hava	1,0006	Gliserin	50	Pleksiglas	3,4
Kauçuk	3	Muşamba	3,5	Alüminyum oksit	8,8

Çizelge 2.4`de bazı farklı malzemelerin dielektrik sabitleri verilmiştir.

Bir hacim içerisindeki toplam yük sıfır olsa da elektron akışı meydana gelir (genellikle sürekli koşullarda). Bunun sebebi, istatistiksel olarak, bir elektron nötr hacim içine doğru hareket ederken, diğer bir elektron bu hacimden dışarıya hareket eder. Maddelerin çoğunda hız, elektrik alanın ve maddesel özelliklerin bir fonksiyonudur. Bazı ortamlarda hız, E elektrik alanına doğrusal olarak bağlıdır. Özetle elektrik alan içindeki iletken, elektriksel kuvvete maruz kaldığında üzerinden bir akım akıtır (Bayrakçı 2001).

Burada hız ile akım yoğunluğu ilişkilendirilmiştir. Denklem 19,  $\vec{J}$  Akım yoğunluğunu denklem 20 ise  $\sigma$  iletkenlik ifadesini verir.

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (19)$$

$$\sigma = \frac{N \cdot e^2}{m \cdot p} \quad (20)$$

Burada; N: elektron yoğunluğunu, e elektronun yükü, m ve p sabit olmak üzere m elektron yükünü, p ise elektron kütesini temsil etmektedir (Bayrakçı 2001).

#### 2.4.1 Gauss Kanunu

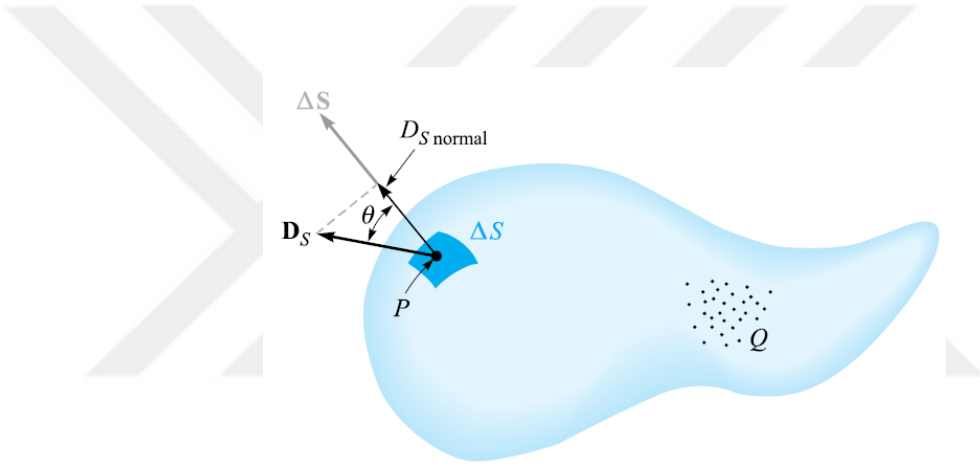
Gauss kanunu, Faraday'ın eş merkezli küreler üzerindeki deneylerinin sonuçları, iki iletken küre arasında uzanan herhangi bir hayali küresel yüzeyden geçen elektrik akısının, bu hayali yüzeyin içine konan yüke eşit olduğunu belirterek deneysel bir kanun olarak özetlenebilir. Herhangi bir radyal mesafe "R" de bir nokta yükünün elektrik alan şiddeti büyüklük olarak sabittir ve pozitif yükler için radyal olarak dışa doğru veya



negatif yük için radyal olarak içe doğrudur. Elektrik alan şiddetini biliyorsak denklemdaki ilk ilişkiyi kullanarak yüzeyden geçen toplam elektrik akısını da hesaplayabiliriz (Ida 2015, William ve John 2015).

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (10)$$

Gauss yasası, serbest alandaki herhangi bir kapalı yüzey üzerindeki elektrik alanının, dışa doğru toplam akısının,  $\epsilon_0$  ile bölünmüş yüzeye eklenen toplam yüke eşit olduğunu iddia eder. Şekil 2.8`de seçilen yüzey olan "S" matematiksel bir kapalı yüzeydir (Cheng 1989).



Şekil 2.8. Bir elektrik alan içinde seçilen S yüzeyi (William ve John 2015)

#### 2.4.2 Yük Dağılımı Etkisiyle Elektrik Potansiyeli

Denklem 21 bize noktasal bir q yükünün bir R mesafesinde oluşturduğu elektrik potansiyelini verir.

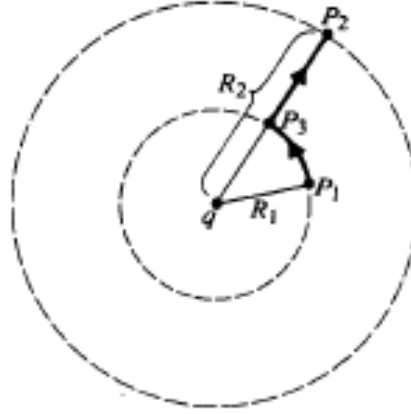
$$V = - \int_{\infty}^R \left( \vec{a}_R \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \right) \cdot \vec{a}_R dR \quad (21)$$

Denklem 21`den elektrik potansiyeli denklem 22`deki gibi hesaplanabilir.

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \quad [V] \quad (22)$$

Denklem 22 ifadesi skaler olmakla beraber  $q$  yükü dışında  $R$  mesafesine bağlıdır. Şekil 2.9'daki gibi mesafeleri merkezdeki  $q$  yüküne  $R_1$  ve  $R_2$  olan iki nokta  $P_1$  ve  $P_2$  düşünüldüğünde elektrik potansiyeli denklem 23'deki gibi olur.

$$V_{21} = V_{P_2} - V_{P_1} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right] \quad [V] \quad (23)$$

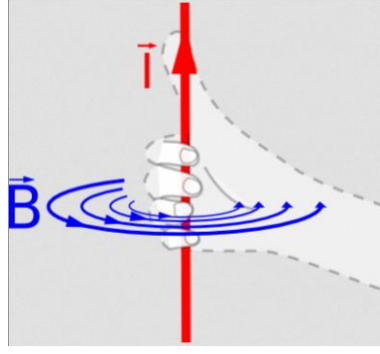


**Şekil 2.9.** Yük dağılımı etkisi ile elektriksel potansiyel (Cheng 1989)

## 2.5 Manyetik Alan

Oersted 1820 yılında, içinden akım geçen bir telin yakınına konmuş bir pusulanın ibresinin saptığını gözlemlemiştir. Bu gözlemden kısa bir süre sonra birbirlerinden bağımsız olarak Oersted ve Amper, içinden akım geçen iki telin birbirlerine karşılıklı olarak bir kuvvet uyguladıklarını keşfetmiştir. Söz konusu teller elektriksel olarak nötr olduklarından bu kuvvetler elektrik yüklerinden kaynaklanmazlar (Fishbane ve ark 2007).

Manyetik akı yoğunluğu  $B$ 'nin yönünü sağ el kuralıyla tayin edebiliriz. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi içinden akım geçen bir teli avucumuzun içine aldığımızda sağ elimizin başparmağı akımın yönünü gösterecektir, 4 parmağımızın kıvrılan kısmında manyetik alanın yönünü gösterir.



**Şekil 2.10.** İçinden Akım Geçen Telde Sağ El Kuralı (Anonim 2018g)

### 2.5.1 Manyetik Alan Kavramının Arkaplanı

İki statik elektrik yükü arasındaki kuvvet, doğrudan ölçümlerden elde edilen Coulomb yasası tarafından hesaplanabilir. Küçük olmasına rağmen, bu kuvvet kolayca ölçülebilir. Bu iki statik yük hareket ederse, aralarında ek bir kuvvet oluşur, buna manyetik kuvvet denir. Coulomb kuvveti ile karşılaştırıldığında, bireysel hareket eden yükler arasındaki manyetik kuvvet son derece küçüktür. Aslında, o kadar küçük ki, sadece bir çift hareketli yük arasında deneysel olarak tespit edilemez. Bununla birlikte, bu kuvvetler organize hareket, yani elektrik akımı gibi çok sayıda elektron (pratikte atom başına bir tane) kullanılarak ölçülebilir. Elektrik akımı neredeyse elektriksel olarak nötr malzemeler içinde bulunur. Böylece, manyetik kuvvet, yük dengesizliğinin bir sonucu olan elektrik güçlerinden bağımsız olarak ölçülebilir (Bansal 2004).

Deneyler, bu çok sayıda hareketli yükten ötürü, iki akım ileten iletken arasındaki manyetik kuvvetin, aralarındaki maksimum elektrik kuvvetinden çok daha büyük olabileceğini göstermektedir. Örneğin, güçlü elektromıknatıslar birkaç ton ağırlıkları taşıyabilirken, elektrik gücü bu mukavemetin bir kısmına bile sahip olamaz. Sonuç olarak, manyetik kuvvetin birçok uygulaması vardır. Örneğin, Kuzey Manyetik Kutup'un yaklaşık yönü bir manyetik cihazla bir pusula ile tespit edilir. Çeşitli verilerin kaydedilmesi ve saklanması en yaygın olarak, bilgisayar diskleri ve bantlar gibi manyetik depolama bileşenleri kullanılarak gerçekleştirilir. Çoğu ev aletleri, endüstriyel tesislerin yanı sıra, operasyonları manyetik kuvvetlere dayanan motorlar ve jeneratörler kullanır (Bansal 2004).

İçinden akım geçen bir telin oluşturduğu manyetik alanı veren bağıntı, denklem 24`de olduğu gibi genel bir biçimde ifade edilebilir. Bunu yapmak için tel merkezli, r yarıçaplı, dairesel, manyetik akı yoğunluğu B üzerinde, B ile aynı yönde olmak üzere çizgisel integrali alınır (Fishbane ve ark 2007).

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot I_{kapalı\ çevrim} \quad (24)$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} [T \cdot m/A] \quad (25)$$

Denklem 24 ve 25`de verilmiş olan " $\mu_0$ " boşluğun manyetik geçirgenliği olmak üzere. İntegral akımı çevreleyen kapalı yol boyunca alınmıştır. Amper tarafından elde edilen bu sonuç Amper kanunu olarak bilinir. Amper kanunu bize manyetik alan H`nin kapalı bir C yolu dolaşımında, bu C yolunda dolaşan akımın değerini verir. Sağ elin parmakları integralin alındığı yönde kıvrılırsa, başparmak akım yönünü gösterir. Yolun mutlaka daire şeklinde olması gerekmez. Genel sonucu elde etmek için kapalı olması yeterlidir (Fishbane ve ark 2007, Giancoli 2008).

Bir manyetik akı yoğunluğu " $\vec{B}$ " tarafından tanımlanan manyetik alan içindeki test yükü hareket ettiğinde q yükünün aynı zamanda bir " $\vec{F}_m$ " manyetik kuvvet ile karşılaştığını deneyler göstermiştir (Fishbane ve ark 2007).

Bu manyetik kuvvet denklem 26 şeklinde olur.

$$\vec{F}_m = q \cdot \vec{u} \times \vec{B} [N] \quad (26)$$

Burada  $\vec{u}$ ; hızı [metre/saniye],  $\vec{B}$  manyetik akı yoğunluğunu [ $\frac{weber}{metre^2}$  veya Tesla (T) ] ifade etmektedir. Denklem 26.1`de birimler arasındaki dönüşüm gösterilmektedir.

$$10^4 gauss = 1 tesla = 1 weber/m^2 \quad (26.1)$$

Statik elektrik ve manyetik alanın bulunduğu bir q test yükü üzerindeki toplam kuvvet  $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$  eşitliğini de hatırlarsak toplam elektromanyetik kuvvet  $\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m$ `ye eşittir ve Lorentz kuvvet denklemi olarak bilinir (Cheng 2012).

Bir dış manyetik alanın uygulanması, dahili dipol momentlerin hızlanmasına ve manyetik malzeme içerisinde indüklenmiş manyetik momentlere neden olacaktır. Bu durumda manyetik malzeme olduğu durumdaki manyetik akı yoğunluğunun, boş uzaydakinden farklı olmasını bekleriz. Mıknatıslanmanın makroskopik etkisini, mıknatıslanma hacimsel akım yoğunluğu " $\vec{J}_{mv}$ " yi,  $\vec{M}$  mıknatıslanma vektörü olmak üzere denklem 27'deki gibi gösterebiliriz (Cheng 2012).

$$\vec{J}_{mv} = \nabla \times \vec{M} \quad (27)$$

Denklem 27'yi denklem 28'deki gibi temel dönele yazarsak,

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{J} \quad (28)$$

$$\nabla \times \left( \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \right) = \vec{J} \quad (29)$$

denklem 29'u elde ederiz. Burada  $\left( \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \right)$  ile verilen ifade yerine denklem 30'da verildiği gibi manyetik alan şiddeti ( $\vec{H}$ ) tanımlanabilir (Cheng 2012).

$$\vec{H} = \left( \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \right) [A/m] \quad (30)$$

Ortamın manyetik özellikleri lineer ve yönden bağımsız ise, manyetizasyon denklem 31'den anlaşılacağı gibi manyetik alan şiddeti ile doğru orantılıdır (Cheng 2012).

$$\vec{M} = \chi_m \cdot \vec{H} \quad (31)$$

Burada " $\chi_m$ " birimsizdir ve manyetik hassasiyet olarak adlandırılır. Böylece manyetik akı yoğunluğu, manyetik alan şiddeti ve manyetik geçirgenlik arasında denklem 32,33 ve 34'deki eşitlik kurulmuş olur (Cheng 2012).

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot (1 + \chi_m) \cdot \vec{H} \quad (32)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} [Wb/m^2] \quad (33)$$

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} [Wb/m^2] \quad (34)$$

## 2.6 Elektromanyetik Alanlar

Bir elektrik yükünün hareket etmesi neticesinde uzayda oluşan elektriksel etkiyi elektromanyetik alan olarak tanımlayabiliriz. EMA`lar elektrik ve manyetik alan olmak üzere iki bileşen içerir. Elektrik alanın meydana gelişi ortamdaki yüklerin mevcut olmasına bağılıken manyetik alanın meydana gelişi yüklerin hareket etmesi ile yani elektrik akımıyla olur (Güçlü 2011, Sevgi 2005).

Elektromanyetik alan kaynağının boyutu, yüklerin hareketinin dalga boyu ile aynı düzeyde olduğu zaman yayılan EM dalga enerjisinin büyüklüğü de artar. Elektriksel enerjinin bu şekildeki yayılımına elektromanyetik dalga yayılması veya elektromanyetik ışınım denir (Güler ve Çobanoğlu 1994). Bu yayılım ışık hızında olur. Elektromanyetik yayılımda iki dalga tepesinin arasındaki mesafeye dalga boyu ( $\lambda$ ) denir. Dalganın bir saniyedeki tekrar sayısı ise frekansıdır (f), frekans Hertz (Hz) ile ölçülür.

$$c = \lambda \cdot f \quad (35)$$

Denklem 35`deki ifade de yer alan  $c$  ışık hızıdır ve değeri yaklaşık olarak  $3 \times 10^8$  m/s`dir (Güçlü Gülşen G. 2011).

Maxwell Denklemleri bize elektrik ve manyetik alanlar arasındaki ilişkiyi 4 sade denklem ile açıklar. Maxwell`in elektromanyetik teorisinde, kaynak alanlar;  $\vec{J}$  (akım yoğunluğu) vektör alanı ve  $\rho$  (yük yoğunluğu) skaler alan olarak ifade edilmiştir. Maxwell denklemleri dört vektör alanı  $E$  ,  $D$  ,  $B$  ve  $H$ `den oluşan elektromanyetik alanlardır. Maxwell`in dört temel denklemi elektromanyetik dalgaların bütün özelliklerini açıklamış olur. Maxwell denklemleri temelde iki kuralla ifade edilir (Polat 2013, Rothwell ve Cloud 2018):

1. Manyetik alanın zamana göre değişimi, elektrik alanı oluşturur.
2. Elektrik alanın zamana göre değişimi, manyetik alanı oluşturur.

Elektromanyetik teorinin temelini oluşturan Maxwell Denklemleri, elektrik alan ve manyetik alan arasında ilişkiyi denklem 36,37,38 ve 39'daki dört denklem kümesiyle açıklamaktadır (Cheng 2012):

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (36)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (37)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v \quad (38)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (39)$$

Bu dört denklem Lorentz kuvvet denklemi  $[\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{u} \times \vec{B})]$  ile birlikte elektromanyetik teorinin temelini oluşturur (Cheng 2012).

Bu dört Maxwell Denklemini kısaca şu şekilde açıklayabiliriz (Dilek 2014):

Denklem 36 Faraday Yasası, değişen bir manyetik alanın oluşturduğu elektrik alanını tanımlar.

Denklem 37 Ampère Yasası, manyetik alanın değişen bir elektrik alan ve elektrik akımı neticesinde meydana geldiğini belirtir.

Denklem 38 Gauss Yasası, kapalı herhangi bir yüzeyden geçen toplam elektrik akısının bu yüzeyin içinde bulunan net yüke eşit olduğunu belirtir.

Denklem 39 Gauss Yasası'nın manyetizma için yorumlanmış hali, herhangi bir kapalı yüzeyden geçen manyetik akının sıfır olduğunu ifade eder.

Ayrıca doğrusal izotropik bir ortamda D" ve "E" ile "B" ve "H" arasında bir orantı vardır. Orantılılık sabitleri "ε" dielektrik geçirgenliği ve manyetik geçirgenlik "μ" dir. Bu ikililer arasındaki ilişki denklem 14, 18, 19, 34, 40'daki gibidir. Boş uzay durumu için "ε<sub>r</sub>"ve "μ<sub>r</sub>" değerleri 1 olacağından ε = ε<sub>0</sub> ve μ = μ<sub>0</sub> olur.

$$\mu = \mu_0\mu_r \quad (40)$$

Doğrusal izotropik ortam ayrıca iletim özelliklerine de sahip olabilir. İletken bir ortamda genellikle elektrik alanın ikincil bir elektrik akımına bağlanmasıyla alan ve yükün mekanik etkileşimini tanımlamak için yapısal bir ilişki kullanılır. Basit bir ortam için, akım, elektrik alanı ile orantılıdır (Rothwell ve Cloud 2018).

Bir elektromanyetik dalganın eksiksiz bir açıklaması sadece dalga boyu, faz hızı ve gücü gibi parametrelerle değil, aynı zamanda alan vektörünün anlık yöneliminin bir ifadesini de içerecektir. Dalga polarizasyonunu zamana bağlı elektrik alan vektörü olarak tanımlarız yani uzayda sabit bir noktada yönelimi ifade eder (William ve John 2015).

## **2.7 Elektromanyetik Işıma**

### **2.7.1 Işıma**

Elektromanyetik dalga enerjisi taşıyan, uzayda yayılım yapan elektromanyetik dalgaları veya bunların fotonlarını belirtir. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi, görünür ışık, ultraviyole, X ışınları ve gama ışınlarını içerir.

### **2.7.2 Radyoaktivite (Radyoaktiflik)**

Kararsız nükleitlerin, tanecikler ya da elektromanyetik ışımlar yayarak kendiliğinden parçalanması, kütesini yitirmesi (Cansız 2010).

Elektromanyetik ışıma, foton adı verilen enerji paketleri halinde uzaydan yayılım yapar. Fotonların tümü ışık hızında hareket eder. Foton enerjisi, frekansı ile doğru orantılı olmaktadır. Fotonların birimi elektronvolttur, eV kısaltması ile gösterilirler. Bir elektronvolt bir voltluk potansiyel farkın etkisiyle harekete geçen elektronun sahip olduğu enerjidir. Bu enerji oldukça küçüktür. Örneğin: Ağırlığı 1 miligramlık cisim,



$10^{-6}$  cm yüksekliğe kaldırılmak istenirse gereken enerji  $10^7$  eV`tur. Enerjisi düşük olan fotonlar genellikle kaynağa yakın noktalarda etkilerini gösterirler (Cansız 2010).

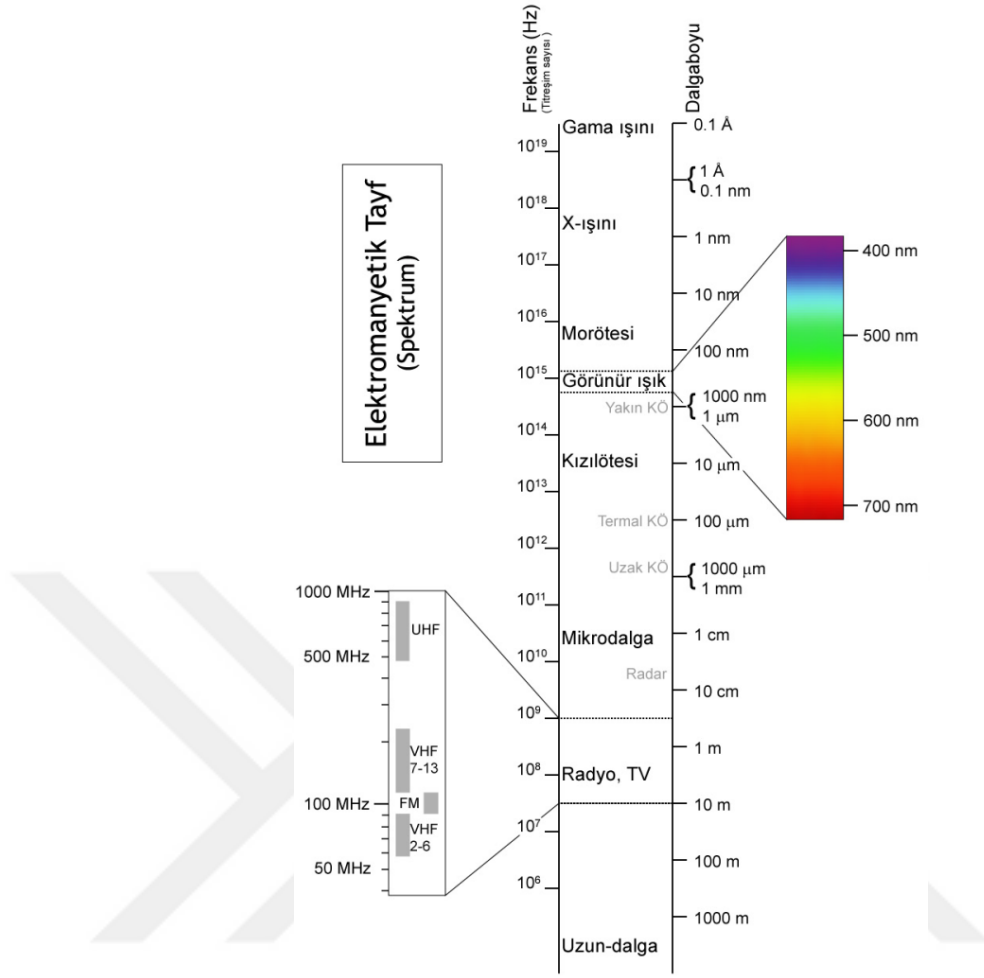
Bir fotonun sahip olduğu elektromanyetik enerji: Dalga boyu “ $\lambda$ ” ve ışık hızı “ $c$ ”`ye bağlıdır. “ $E$ ” foton enerjisi olmak üzere bu bağıntı denklem 41 ile gösterilmiştir (Polat 2013).

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \quad (41)$$

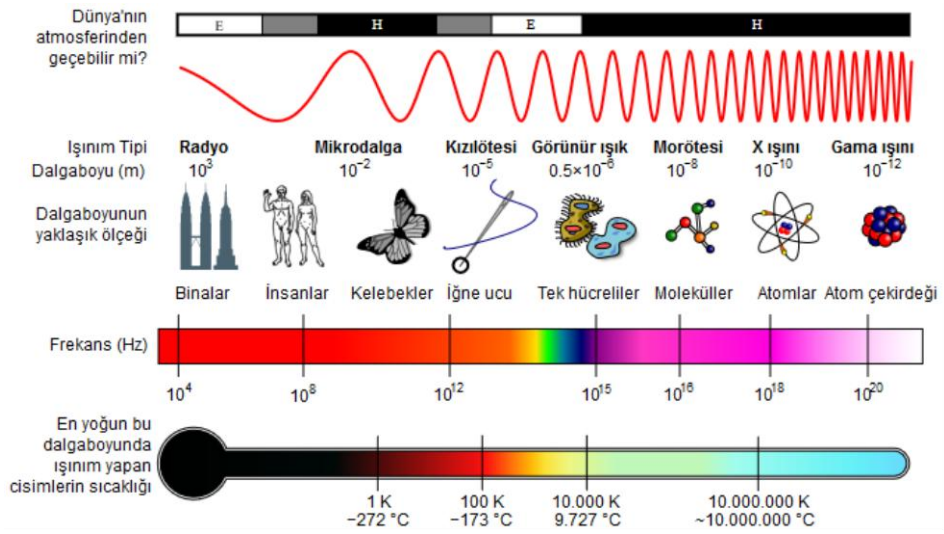
$$\text{Planck sabiti } h \cong 6,626069.10^{-14} \text{ [J.s]}$$

$$c = 300.000 \text{ [km/s]}$$

Denklem 41`e bakıldığında aynı zamanda foton enerjisinin frekansına da bağlı olduğu görülmektedir. Dalga boyu frekansla ters orantılı olduğundan; yüksek frekansa sahip elektromanyetik dalga yüksek enerjiye sahipken kısa dalga boyundadır, düşük frekanslı elektromanyetik dalga ise düşük enerjiye sahiptir ancak uzun dalga boyundadır (Anonim 2018c). Şekil 2.11 `de elektromanyetik tayf verilmiştir. Şekil 2.12`de ise elektromanyetik dalgalar geçişkenliğine göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.11. Elektromanyetik Tayf (Anonim 2018c)



Şekil 2.12. Atmosferdeki Elektromanyetik Dalgaların Geçişkenliğine Göre Sınıflandırılması (Anonim 2018a)

Şekil 2.11 ve şekil 2.12'deki sınıflandırmalar genellikle doğru olmakla birlikte, bu kategoriler arasında net bir sınır yoktur ve bazı durumlarda, belirli bir kategorideki ışığa başka bir kategorinin dalga boyunda olabilir. Örnek vermek gerekirse çizelge 2.5'de de görülen bazı düşük enerjiye sahip gama ışınları, bazı yüksek enerjiye sahip X-ışınlarından daha uzun bir dalga boyuna sahiptir. Bunun nedeni, gama ışınının, nükleer bozulmadan veya diğer atom altı işlemlerden kaynaklanan fotonlar için kullanılmasına karşın, X-ışınları, atom çekirdeğinin yakınındaki yüksek enerjiye sahip iç elektronların yörüngesel değişimleriyle üretilir (Anonim 2018d).

**Çizelge 2.5.** Başlıca Elektromanyetik Tayf Bantları (Anonim 2018c)

<b>Sınıf</b>	<b>Dalga Boyu</b>	<b>Enerji (eV)</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Y</b>	1 pm- 10 pm	1,24 M-124 keV	Gama ışınları
<b>HX</b>	10 pm- 100 pm	124 keV-12,4 keV	Sert X-ışınları
<b>SX</b>	100 pm- 10 nm	12,4 keV-124 eV	Yumuşak X-ışınları
<b>EUV</b>	10 nm- 100 nm	124 eV- 12,4 eV	Uzak mor ötesi
<b>NUV</b>	100 nm- 1µm	12,4 eV- 1,24 eV	Yakın mor ötesi
<b>VIS</b>			Görünür ışık aralığı
<b>NIR</b>	1 µm- 10 µm	1,24 eV- 124 meV	Yakın kızıl ötesi
<b>MIR</b>	10 µm- 100 µm	124 meV-12,4 meV	Orta kızıl ötesi
<b>FIR</b>	100 µm- 1 mm	12,4 meV- 12,4 eV	Uzak kızıl ötesi
<b>EHF</b>	100 µm- 1 mm	1,24 meV- 124 µeV	Aşırı yüksek frekans
<b>SHF</b>	1 cm- 1 dm	124 µm- 12,4 µeV	Süper yüksek frekans
<b>UHF</b>	1 dm- 1 m	12,4 µeV- 1,24 µeV	Ultra yüksek frekans
<b>VHF</b>	1 m- 10 m	1,24 µeV- 124 neV	Çok yüksek frekans
<b>HF</b>	10 m- 100 m	124 neV- 12,4 neV	Yüksek frekans
<b>MF</b>	100 m- 1 km	12,4 neV- 1,24 neV	Orta frekans
<b>LF</b>	1 km- 10 km	1,24 neV- 124 peV	Alçak frekans

**Çizelge 2.5.** Başlıca Elektromanyetik Tayf Bantları (Anonim 2018c) (devam)

<b>VLF</b>	10 km- 100 km	124 peV- 12,4 peV	Çok alçak frekansı
<b>VF/ULF</b>	100 km- 1 Mm	12,4 peV- 1,24 peV	Ses frekansı
<b>SLF</b>	1 Mm- 10 Mm	1,24 peV- 124 feV	Süper alçak frekans
<b>ELF</b>	10 Mm- 100 Mm	124 feV- 12,4 feV	Aşırı alçak frekans

### 2.7.3 İyonlaştırıcı Işıma (Nükleer Işıma)

Bir fotonun sahip olduğu enerji 15 eV veya bunun üzerinde olduğunda foton, atomları ve molekülleri iyonlaştırabilir. Bu türdeki fotonlar iyonlaştırıcı ışımaya adını alırlar. İyonlaştırıcı ışınlar için nükleer ışımaya tanımlaması da yapılabilir, bu tanım iyonlaştırıcı ışımaya atomun çekirdeğinden geldiğini belirtir. X-ışınının ve bütün diğer nükleer ışımaların yegane ortak yönü içinden geçtikleri maddesel ortamlarda, atomların elektronlarını kopararak onları iyonlaştırmalarıdır. Işımanın insan vücuduna zarar vermesinin nedeni de hücre içinde meydana getirdiği iyonlaşmadır. Hızlandırıcılarda, yüksek enerjilere çıkarılmış bütün iyonlar iyonlaştırıcı ışımaya olarak kabul edilirler. Hareketsiz iyonların radyoaktif etkisinin olduğu söylenemez. Giricilik dereceleri kütlelerine, elektrik yüklerine ve aldıkları hıza göre değişir ve insan vücudu için zararlı hale gelirler. Alfa ve Beta ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. Tam manasıyla birer nükleer ışımadırlar. Alfa ve Beta ışınları belirli kütleleri olan maddesel taneciklerdir. Beta ışını insan vücuduna en çok 10 mm kadar girebilir. Alfa ışınının etkisi ise 45 mikron kadardır; deri dokusunun içinde kalmış olur. Alfa ışını kağıttan geçemeyecek özelliktedir. Beta ışını ise bir kağıttan kayıplarla geçer, fakat cam veya plastiğe en çok 5-7 mm kadar etki eder. Beta ışınının yoğun metallere etkisi pratikte sıfırdır (Düzgün 2009, Şeker ve Çerezci 1997).

### 2.7.4 İyonlaştırmayan Işıma (Elektromanyetik Işıma)

İyonlaştırmayan ışımaya olarak da tanımlanan elektromanyetik ışımaya, enerjinin boşlukta manyetik ve elektrik alanlar şeklinde yayılımıdır. İyonlaştırmayan ışımalar grubunda içerisinde X-ışınlarından farklı olarak radyo dalgaları, ısı, ışık, kızıl ve mor ötesi ışınları ile gamma ışınları da sayılabilir (Düzgün 2009, Şeker ve Çerezci 1997).

## 2.8 Elektromanyetik Dalganın Taşıdığı Enerji

Elektromanyetik dalgalar ilerlerken üzerlerinde bir enerji taşırlar ve bu enerjiyi uzayda başka cisimlere aktarabilirler. Bir elektromanyetik dalganın taşıdığı enerji Poynting Vektörü ile tanımlanır.

### 2.8.1 Poynting Vektörü

$$\vec{P}(\vec{r}, t) = \vec{E}(\vec{r}, t) \times \vec{H}(\vec{r}, t) \quad (42)$$

Denklem 42 ile Poynting vektörü tanımlanmaktadır. Burada E ve H kapalı bir V hacmi içinde bölgede tanımlı ve bu hacim S yüzeyi ile sınırlandırılmıştır. Bu eşitlik ile verilen bu vektörel çarpım bir V hacmini saran S yüzeyinden dışarı çıkan ani güç akışını göstermektedir.

### 2.8.2 Ortalama Poynting Teoremi

Bir T periyodu boyunca Poynting vektörü (denklem 42), integrali alınıp T periyoduna bölünmesiyle:

$$\vec{P}_{ort}(\vec{r}) = \frac{1}{T} \int_0^T (\vec{E}(\vec{r}, t) \times \vec{H}(\vec{r}, t)) dt \quad (43)$$

Ortalama poynting vektörü elde edilebilir. Bilindiği gibi elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin fazör değerlerinin " $e^{j\omega t}$ " zaman faktörü ile çarpılıp reel kısımlarının alınmasına eşit olduğu göz önüne alınarak Fazör alanlar elde edilebilir. Fazör alan bileşenleri ortalama Poynting Teoreminde kullanılırsa, denklem 44 olarak bulunabilir.

$$\vec{P}_{ort}(\vec{r}) = \frac{1}{2} \text{Re} \left[ \left( \vec{E}(\vec{r}, t) \times \vec{H}^*(\vec{r}, t) \right) \right] \quad [W/m^2] \quad (44)$$

Bir V hacmini saran kapalı S yüzeyinden dışarı çıkan toplam güç akışını gösteren ifade,

$$P_{ort}(\vec{r}) = \oint_S \vec{P}_{ort}(\vec{r}) \cdot d\vec{s} \quad (45)$$

denklem 45 şeklinde verilebilir.

## 2.9 Özgül Emilim Oranı (SAR)

Özel emilim oranı (SAR) genellikle mikrodalga biyolojik çalışmasında elektromanyetik radyasyonun bir göstergesi olarak kullanılır. Elektromanyetik alanların insana etkisinin neden olduğu SAR, insan vücudundaki birim kütle dokusu tarafından emilen veya tüketilen elektromanyetik radyasyon enerjisi olarak tanımlanabilir.

Özgül emilim oranı elektrik alan kullanılarak denklem 46'daki eşitlik ile tüm canlı vücudu veya vücudun bir bölümü üzerinden hesaplanır:

$$SAR = \int \frac{\sigma \cdot |E|^2}{\rho(r)} dr \quad [W/kg] \quad (46)$$

Denklem 46'daki eşitlikte “ $\sigma$ ” elektriksel iletkenliği, E elektrik alanının genliğini ve “ $\rho$ ” ise yoğunluğunu göstermektedir. Denklem 46'daki ifade bizlere elektromanyetik dalga etkisi ile soğurulan enerji miktarında, vücudun şeklinin ve kaynağa göre bulunduğu konumun aynı zamanda kaynağın şeklinin büyük etkiye sahip olduğunu anlatmaktadır (Polat 2013, Changqi ve ark. 2015).

## 2.10 Yakın Alan ve Uzak Alan Kavramları

Işıma yapan elemanlar ya da özel olarak antenler, bunların her ikisi de antenin yayılan alanı incelenerek ölçülen kazanç ve yönlendirme açısından tanımlanır. Yayılım yapan anten modelleri genelde yalnızca uzak alan performansını bildirir. Boş alanda, çoğu anten için uzak alan, ters kare yasasına göre hesaplanır. Yani güç yoğunluğu, mesafeye göre  $1/R^2$  bağıntısıyla değişir. Antenin yakın alanı, anten radyatör elemanına yakınlığı nedeniyle uzaktaki alandan daha fazla enerji içerir, ancak artan mesafe ile çok hızlı bir şekilde azalır. Maksimum uzunluğu “D” olan antenler için frekans “f” ile ilişkili dalga boyu “ $\lambda$ ” olmak üzere, yakın ve uzak alan bölgeleri teorik olarak çizelge 2.6'da verilmiştir.

**Çizelge 2.6.** Yakın ve uzak alan değerlerinin antenden uzaklık ilişkisi

<b><u>Bölge</u></b>	<b><u>Antenen Uzaklık (r)</u></b>
Reaktif Yakın Alan	$0 > r > 0,62\sqrt{D^3/\lambda}$
Işıma Olan Yakın Alan	$0,62\sqrt{D^3/\lambda} > r > 2 D^2/\lambda$
Uzak Alan	$r \geq 2 D^2/\lambda$

Uzak alan için  $r > 2 D^2/\lambda$ ,  $r \gg D$ ,  $r \gg \lambda$  koşulları da ilave edilebilir.

Uzak alanda ölçüm yapılırken sadece elektrik alan ölçümü de yeterli olmaktadır. Ölçülen elektrik alan değerine göre manyetik alanın değeri denklem 47 deki formülle hesap edilebilir (Narda 2010a):

$$H = \frac{E}{Z_0} \quad (47)$$

Burada  $Z_0$  boşluğun empedansı olup, değeri  $377 \Omega$ 'dur. Bu ifade bize aynı zamanda E/H oranının  $377$  olarak sabit olduğunu da verir (Narda 2010a).

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 İnsan Sağlığı Açısından Ulusal Ve Uluslararası Standartlar

Özel hazırlanan yapılar dışında engellenmesi mümkün olmayan manyetik ve elektrik alandan halkın tümü farklı seviye ve süreler içinde etkilenmektedir. Bu etkinin hangi seviyede olduğunun değerlendirilmesinde pek çok faktör bulunmaktadır. Etkiye sebep olan faktörlerden ilk akla gelenler çevresel koşulları içeren yerleşim alanların, konutların ve çalışma alanlarının özellikleri, birey açısından ele alındığında ise yaş ve fiziksel özelliklerdir (Çerezci ve ark. 2012). EMA etkilerinin saptanabilmesi için her şeyden önce doğal ve insan yapımı kaynaklardan yayılan EM alanların seviyelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Manyetik ve elektrik alanın önemli bir ortak özelliği ise güçlerinin kaynaktan uzaklaşınca azalmasıdır (Çerezci ve ark. 2012).

Elektromanyetik alan etkisinden insanların korunması için gelişmiş veya gelişmekte olan bütün ülkeler kendilerine uygun buldukları bir standarda göre limit değerleri belirlemiştir. Bu şekilde limit değerler olarak da adlandırılan, Avrupa Birliği`ndeki ülkeler ve ABD`nin de içinde bulunduğu birçok dünya ülkesinde, EMA`lar açısından uygulanan sınır değerler bulunmaktadır. Bu sınır değerler, uluslararası bir komisyon olan ve WHO tarafından da geçerliliği kabul edilen ICNIRP tarafından genel halk için bu etkinin günde 24 saat boyunca olduğu kabulüyle belirlenmiştir. Yayılan EMA frekansına bağlı olarak sınır değerler değişmektedir, yani her frekans için farklıdır. Sınır değerler elektromanyetik alan etkisinin meydana getirdiği ısı artışı parametresine göre belirlenmiştir. Uzun sürelerdeki EMA etkileri için ICNIRP limitlerinin yeterli olduğu tartışmaya açık bir konudur (Çerezci ve ark. 2012).

Ülkemizde Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, ICNIRP limitlerinin en üst seviyesine göre belirlediği limitleri, 21.04.2011 Tarih ve 27312 Sayılı Resmi Gazetede “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik”`de yayınlamıştır. Fakat adı geçen yönetmelik yapılan değişiklikler ile 17/4/2018 tarihli ve 30394 sayılı Resmi Gazete`de adı ve içeriği farklı



şekilde tekrar düzenlenmiştir. Yönetmeliğin adı güncel olarak Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği olmuştur. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu bu yönetmeliğinde sınır değerleri; çizelge 3.1`de görüldüğü gibi ortamın tümü için olan sınır limit değerler ile tek bir cihaz için olan limit değerler şeklinde birbirinden ayrılmıştır (Anonim 2011).

**Çizelge 3.1** Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği MADDE 16 – (Değişik:RG-17/4/2018-30394) `ya göre ülkemizdeki elektromanyetik alan şiddeti limit değerleri (Anonim 2011).

Frekans Aralığı (MHz)	E- Alan Şiddeti (V/m)	
	Tek Cihaz Limit Değeri	Ortam Limit Değeri
0,010-0,15	19,3	65,25
0,15-1	19,3	65,25
1-10	$19,3/\sqrt{f}$	$65,25/\sqrt{f}$
10-400	6,2	21
400-789	$0,305\sqrt{f}$	$1,03\sqrt{f}$
790-2000	$0,275\sqrt{f}$	$0,96\sqrt{f}$
2000-94000	12,3	42,93

Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği`nin 16.maddesine göre elektrik alan şiddetinin limit değeri belirlenirken, insan ve çevre sağlığı dikkate alınmıştır. Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Loruma Komisyonu (ICNIRP) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından kabul edilmiş limit değerlerden daha düşük belirlenmiştir. Bu seçim bilimdeki ihtiyatlılık ilkesine göre yapılmıştır (Anonim 2011).

Elektrik alan şiddeti değerlendirilirken aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır;

a) Hücresel sistemlerde ortam için müsaade edilen değer, ihtiyatlılık ilkesi çerçevesinde, ICNIRP kılavuzlarında yer alan limit değerlerin %70`i hesaplanarak oluşturulmuştur. Hesaplanan bu değerler çizelge 7`de yer almaktadır. Ortam için ölçülen elektrik alan değeri çizelge 7 `deki elektrik alan şiddeti değerlerini aşamaz.

b) Bununla beraber hücreli sistemlerde, a maddesinde yer alan ifadeye ek bir koruma olması için aynı yayılım noktasında kurulan her bir cihaz ICNIRP limit değerlerinin %20'si hesaplanarak oluşturulmuş olan çizelge 7'deki elektrik alan şiddeti değerini aşamaz.

Ulusal limit değerleri BTK (Bilgi Teknolojileri İletişim Kurumu) tarafından bu şekilde belirlenmiştir. ICNIRP standardında belirlenen limit değerler ise genel halk sağlığı için çizelge 3.2'de, mesleki maruziyet içinse çizelge 3.3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** ICNIRP 1998 standardına göre halk sağlığı için elektrik ve manyetik alan limit değerleri (Anonim 1998)

Frekans Aralığı	E-Alan Şiddeti(V/m)	H-Alan Şiddeti (A/m)
<1 Hz	-	$3.2 \cdot 10^4$
1-8 Hz	10 000	$3.2 \cdot 10^4 / f^2$
8-25 Hz	10 000	4000/f
0.025 - 0.8 kHz	250/f	4/f
0.8-3kHz	250/f	5
3-150 kHz	87	5
0.15-1 MHz	87	0.73/f
1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	0.73/f
10-400 MHz	28	0.073
400-2 000 MHz	$1.375 \cdot f^{1/2}$	$0.0037 \cdot f^{1/2}$
2-300 GHz	61	0.16

**Çizelge 3.3.** ICNIRP 1998 standardına göre mesleki maruziyet için elektrik ve manyetik alan referans değerleri (Anonim 1998)

Frekans Aralığı	E-Alan Şiddeti(V/m)	H-Alan Şiddeti (A/m)
<1 Hz	-	$1.63 \cdot 10^5$
1-8 Hz	20 000	$1.63 \cdot 10^5 / f^2$

**Çizelge 3.3.** ICNIRP 1998 standardına göre mesleki maruziyet için elektrik ve manyetik alan referans değerleri (devam)

8-25 Hz	20 000	20000/f
0.025 - 0.82 kHz	500/f	20/f
0.82-65kHz	610	24.4
0.065-1 MHz	610	1.6/f
1-10 MHz	610/f	1.6/f
10-400 MHz	61	0.16
400-2000 MHz	$3*f^{1/2}$	$0.008* f^{1/2}$
2-300 GHz	137	0.36

Bunlara ek olarak BTK yönetmelikleri gereğince; Tıbbi cihazların etkilenmemesi için sağlık kuruluşlarındaki elektronik haberleşme cihazlarının ortamda oluşturduğu elektrik alan şiddeti 3 V/m değerinin altında olmalıdır.

Alçak frekans dalga yayılım için ülkemizde ulusal bir sınırlama yasal olarak mevcut değildir. Ancak uluslararası kuruluşların bu konuda yapmış olduğu çalışmalar neticesinde Çizelge 3.4`de verilen sınır değerler bir referans teşkil etmektedir.

**Çizelge 3.4.** Alçak frekans maruziyet limit değerleri (Anonim 2010a)

<b>Frekans Aralığı</b>	<b>Genel Halk Maruziyeti E Alan Şiddeti (kV/m)</b>	<b>Frekans Aralığı</b>	<b>Mesleki Çalışma Maruziyeti E Alan Şiddeti (kV/m)</b>
1 Hz-8Hz	5	1 Hz-8Hz	20
8Hz-25Hz	5	8Hz-25Hz	20
25Hz-50Hz	5	25Hz-300Hz	$5 \times 10^2 / f$
50Hz-400Hz	$2.5 \times 10^2 / f$	300Hz-3 kHz	$5 \times 10^2 / f$
400Hz-3 kHz	$2.5 \times 10^2 / f$	3kHz-10 kHz	$1.7 \times 10^{-1}$

## 3.2 Ölçüm Yöntemleri

Bu çalışmada ölçüm yöntemi olarak iki referans alınmıştır bunlardan ilki ulusal olan BTK'nın yayınlamış olduğu yönetmelik, bir diğeri ise Avrupa normlarında kabul görmüş CEPT bildirisi olan EEC/REC/(02)04'tür.

### 3.2.1 Ulusal Yönetmeliklere Göre Ölçüm Yöntemleri

Elektromanyetik alan ölçüm teknikleri için çeşitli uluslararası düzenlemeler bulunmaktadır. Ülkemizde bu düzenleme BTK'nın yayınladığı Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği ile yapılmış durumdadır. Yönetmeliğe göre yayılım yapan antenin güvenlik mesafesi dışında üç noktadan asgari 1 dakika olacak şekilde sabit ölçüm alınacaktır. Bu yöntem statik ölçüm yöntemidir. Bahsi geçen bu yönetmeliğe göre ölçüm yöntemi 15.madde ile tarif edilmiştir.

15.Maddeye göre yapılacak ölçümler, elektromanyetik alan şiddeti veya güç akı yoğunluğu ölçümlerinden ibarettir. Bu ölçümlerde aşağıdaki hususlar dikkate alınır (Anonim 2011):

a) Geniş bantlı bir cihaz ile ölçüm yapıldığında, manyetik alan ve elektrik alan yakın alan içinde karmaşık bir yapı gösterir, bu nedenle yapılacak ölçümler manyetik alan ve elektrik alan problemleri ayrı ayrı kullanılarak yapılır. Uzak alanda yapılan ölçümlerde ise sadece elektrik alan probu kullanılır.

b) Ölçüm yapılan noktada birden çok verici varsa, geniş bantta ölçüm yapan cihaz ile ortamdaki tüm elektrik alan şiddetinin etkin değeri ölçülür.

Ölçülen EMA, şiddeti tek bir cihaz için belirlenmiş olan limitten daha yüksek olduğunda, spektrum analizör ve yönlü anten ile ortamda bulunan tüm verici cihazların elektrik alan şiddetleri ayrı ayrı tespit edilir. Yatay ve düşey polarizasyon değerlerinde x, y, z bileşenlerinin her birinin elektrik alan şiddeti ayrı ayrı ölçülerek bu ölçümlerin karelerinin toplamının karekökleri alınarak etkin bileşke elektrik alan değeri hesaplanır. Bu hesaplama denklem 48'deki ifade gibi olur.

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (48)$$

15.Maddenin 2. Kısımına göre ölçümler yapılırken uyulması gereken bazı talimatlar vardır. Bu talimatlar:

- a) Ölçüm sonuçlarının etkilenmemesi için, ölçüm yapan personel üzerinde taşıdığı bütün elektronik cihazları kapalı konuma getirir.
- b) Ölçüm cihazında, ölçüme başlanmadan önce mevcut ise sıfırlama tuşuyla cihaz sıfırlanır.
- c) Yapılacak ölçümler, sistemin faal olduğu zaman dilimi içerisinde gerçekleştirilir.
- d) Yapılacak ölçümler, verici antenin ışıma paterni göz önünde bulundurularak yapılır.

17 Nisan 2018`de yapılan değişikliğe göre 15 maddenin 2. Kısımına ek olarak baz istasyonu ölçümlerinde aşağıdaki talimatlara uyulur:

- a) Ölçülecek elektronik haberleşme cihazının anteninin ışıma paterni dikkate alınarak, antenin baktığı yönde, güvenlik mesafesinin dışında erişilebilecek en yakın yerdeki 3 noktada yapılır.
- b) Ölçümün süresi anten başına minimum 1 dakikadır olmalıdır.
- c) Ölçüm cihazının probu ölçüm esnasında zeminden minimum 1,5 metre yükseklikte bulunmalıdır.
- ç) Bina içi sistemlerde sadece değişiklik yapılan antenler ve yeni kurulan antenler için ölçüm yapılır.

Madde 15`de ölçüm yapılacak noktanın, elektromanyetik dalga kaynağıyla arasında mesafeye işaret eden yakın ve uzak alan kavramları ele alınmıştır. Aynı yönetmeliğin 4.maddesinde bu iki kavrama ilişkin tanımlama da yapılmıştır. 4. maddeye göre:

Uzak alan: “D” anten boyu ve “λ” dalga boyu olmak üzere  $2D^2/\lambda$  ifadesinden daha büyük bir mesafede, elektromanyetik dalganın düzlem dalga özelliğine sahip olduğu alan olarak tanımlanır.

Yakın alan: Verici antene  $2D^2/\lambda$  kadar olan uzaklığın olduğu alandır.

Yakın ve uzak alan tanımlamalarıyla ölçüm noktasının elektromanyetik dalga kaynağa göre fiziksel konumu da belirtilmiş olmaktadır.

Bir diğer ölçüm yöntemi ise Drive Test adı verilen dinamik ölçüm yöntemidir. Drive test yönteminde de ölçü aleti bir araç içinde olup, sabit bir hızla hareketli ölçüm alınması olarak tanımlanabilir.

### **3.2.2 Uluslararası Kuruluşlara Göre Ölçüm Yöntemleri**

Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) ( Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Konferansı (CEPT) Elektronik Haberleşme Komitesi (ECC) ) ECC/REC/(02)04 koduyla yayınladığı bildirisinde 9 kHz – 300 GHz frekansları arasında iyonize olmayan radyasyon için ölçüm önerileri sunmaktadır.

ECC/REC/(02)04 bildirisine göre (Anonim 2004):

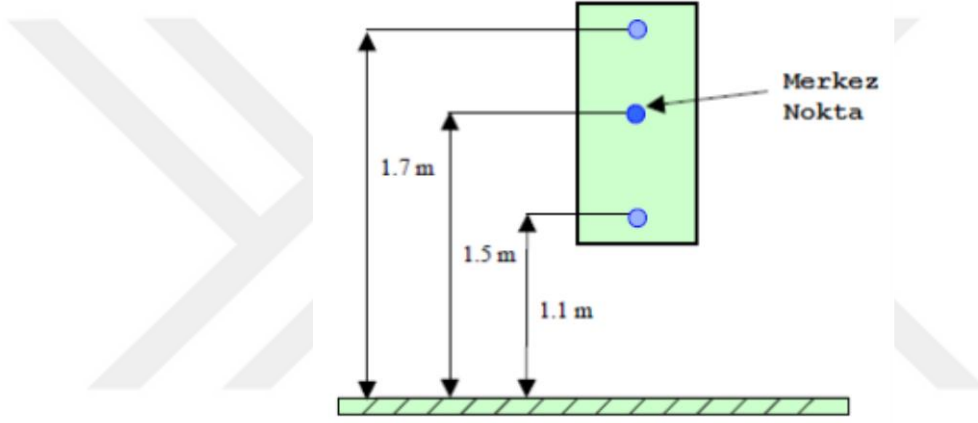
#### **Ölçüm noktası**

Ölçüm noktası, komşu antenlerin konumlarını göz önünde bulundurarak bir kişinin maruz kalabileceği en yüksek maruz kalma düzeylerini temsil edecek şekilde seçilmelidir. Bu yerler ya ölçüm ekipmanı kullanarak hızlı bir kontrole Durum 1 ve

Durum 2 olduğu gibi ya da başarısız olursa, komşu antenlerden gelen teorik yayılım temelli hesaplama ile bulunabilir.

### Nokta sayısı

Ölçüm, şekil 3.1`de tarif edildiği gibi zemin veya zemin seviyesinin 1,5 m üzerinde tek bir nokta için yapılır. Durum 1 ve 3'te, ölçüm sonucu karar seviyesine ulaşırsa, insan vücudunun boyutlarıyla eşleşmesi için deklemler 49`da verilen 3 puanlık bir uzamsal ortalama yapılır.



Şekil 3.1. Ölçüm Noktalarının Tanımı ECC/REC/(02)04`e göre (Anonim 2004)

Sonraki hesaplamalarda kullanılacak alan şiddeti değeri, her uzamsal nokta için elde edilen üç değerlerin ortalamasıdır:

$$E_{uzamsal_ortalama} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 E_i^2}{3}}, H_{uzamsal_ortalama} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 H_i^2}{3}} \quad (49)$$

## İyonize Olmayan Işıma Ölçüm Yöntemlerinin Uygulanabilirliği

### Durum 1: Hızlı Genel Bakış Yöntemi

Hızlı genel bakış yöntemi, sadece iyonize olmayan radyasyon seviyesinin toplamı gerekli olduğunda uygulanmalıdır.

Hızlı genel bakış yönteminin bazı kısıtlamaları vardır. Bu yöntem aşağıdaki durumlarda uygulanmamalıdır:

A - İyonlaşmayan radyasyon düzeylerini frekansa göre bilmek gerekiyorsa,

B - Bu yöntemle verilen değer, ekipman tarafından kapsanan frekans bandı için en düşük referans seviyesini aşarsa,

C - Bu yöntemle verilen değer veya denklem 49'daki uzamsal ortalama formülüne göre uzamsal ortalama, tanımlanan idarelerce belirlenen limit değerleri aşarsa,

D - Ekipmanın hassasiyet sebeplerinden ötürü herhangi bir değer ölçülebilir değilse (iyonize olmayan ışımaya seviyesi ekipman eşik seviyesinin altındaysa) yürürlükteki mevzuat bir değer gerektirir, alanların ekipman hassasiyetinden daha az olduğunu belirtmek için yetersizdir.

Bu durumlarda Durum 2 uygun şekilde uygulanmalıdır.

## **Durum 2: Değişken Frekans Bandı Tarama Yöntemi**

Değişken frekanslı ışımaya seviyeleri, taranan bant içindeki frekans tarafından gerek duyulduğunda, Değişken Frekans Bandı Tarama yöntemi uygulanmalıdır.

Değişken Frekans Bandı Tarama yönteminin bazı kısıtlamaları vardır. Bu yöntem aşağıdaki durumlarda uygulanmamalıdır:

A - Yakın alan ölçümlerinin gerekli olduğu yerlerde,

B - Güçlü elektrik veya manyetik alan ölçümleri gerektiğinde.

C - Darbeli, kesikli veya geniş bantlı emisyonların ölçülmesi gerekiyorsa.



D - Elde edilen değerler karar seviyesini aŗarsa.

E - Toplam maruz kalma bölümlerinden biri (kümülatif etki) "1" değerini aŗarsa.

Bu durumlarda DURUM 3 uygulanmalıdır.

### **Durum 3: Ayrıntılı İnceleme Yöntemi**

1. ve 2. durum geçerli değilse, Ayrıntılı İnceleme yöntemi uygulanmalıdır.

Ayrıntılı İnceleme aŗaęıdaki durumlarda uygulanmalıdır:

A-Yakın alan lęmlerinin gerekli olduğu yerlerde.

B - Güçlü elektrik veya manyetik alan lęmleri gerektiğinde.

C - Klasik olmayan hizmetlerin lęlmesine (rneğin, darbeli, kesikli veya geniŗ bantlı emisyonlar gibi).

Ayrıntılı inceleme yöntemi detaylı bir analiz yapmak için mümkün olmakta ve aynı zamanda ulusal standartlara en yakın teknikleri içermektedir. Ayrıntılı lęm yöntemi için lęm prosedürü aŗaęıdaki gibi olmaktadır:

1) lęm noktası Şekil 13`deki gibi seçilip, lęm probu sabit bir Şekilde lęm alınmalıdır.

2) lęm cihazında, lęlecek sinyal için her kanalın bant geniŗlięini eŗit ya da daha büyük bir çözünürlüğe ayarlanmalıdır.

3) Yeterli süre boyunca ortalama modda lęm alınmalıdır. Bu yeterli süre ICNIRP klavuzlarına göre 6 dakika iken ulusal yönetmeliklerimizde asgari 1 dakika olacak Şekilde belirlenmiŗtir.

4) "rms" dedektör seçilir ve tek bir dipol ile ölçüm yapılırsa her üç yön için ölçüm alınarak denklem 48`deki formül kullanılarak hesaplanır.

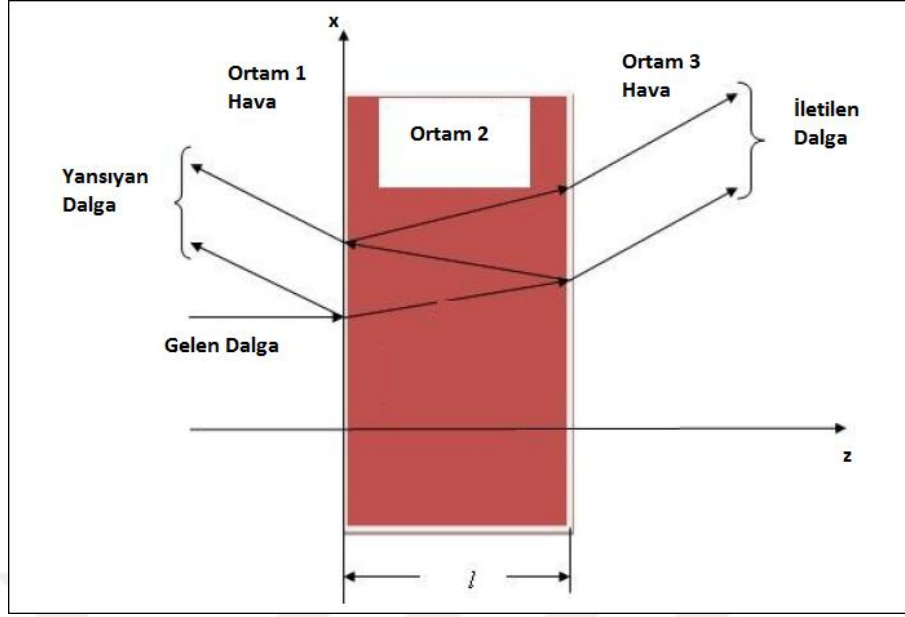
### 3.3 Kırınım ve Yansıma

Kablosuz haberleşmede kırılma, yansıma ve saçılma üç temel yayılım mekanizmasıdır. Yansıma, dalga boyuyla kıyaslandığında çok büyük ölçülerdeki nesnelere ilerleyen elektromanyetik dalga nesnelere temas ettiğinde oluşur. Yansıma, dünya yüzeyi, yapılar ve duvarlardan meydana gelir. Kırılma, alıcı ve verici arasındaki radyo yolundaki yüzeylerdeki keskin düzensizlikler tarafından meydana gelir (Rappaport, T.,S. 2010). Yapıların duvarları genellikle beton ve tuğla yapılardan oluşmaktadır (Sahu ve ark. 2014). Bu yapı malzemeleri radyo dalgaları için zayıflatıcı etki göstermektedir. Bu zayıflatıcı etki frekansa göre değişiklik göstermektedir. Örnek olarak 2.4 GHz frekansı için bazı malzemelerin bağıl geçirgenlik ve iletkenlik katsayıları çizelge 3.5`de verilmiştir.

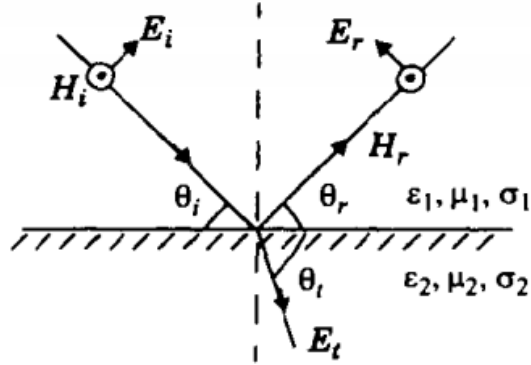
**Çizelge 3.5.** 2.4 GHz`de bazı yapı malzemeleri için bağıl geçirgenlik ve iletkenlik değerleri (Soe ve Aye. 2015)

Malzeme	Bağıl Geçirgenlik	İletkenlik $\sigma$
Cam	5.7	0.073
Beton	4.12	0.014
Kuru Tuğla	5.2	0.01
Tahta	4.75	0.05

Duvar kaybı, şekil 3.2`deki gibi duvar boyunca gelen dalga açısıyla birlikte nüfuz etme kaybıdır. Gerçek duvar kaybının belirlenmesi duvara yakın bulunan eşyalardan kaynaklı çoklu yansımadan dolayı zordur (Anonim 1999).



Şekil 3.2. Duvar boyunda dalga yayılım modeli



Şekil 3.3. Elektrik alan düzlem geliş açısı

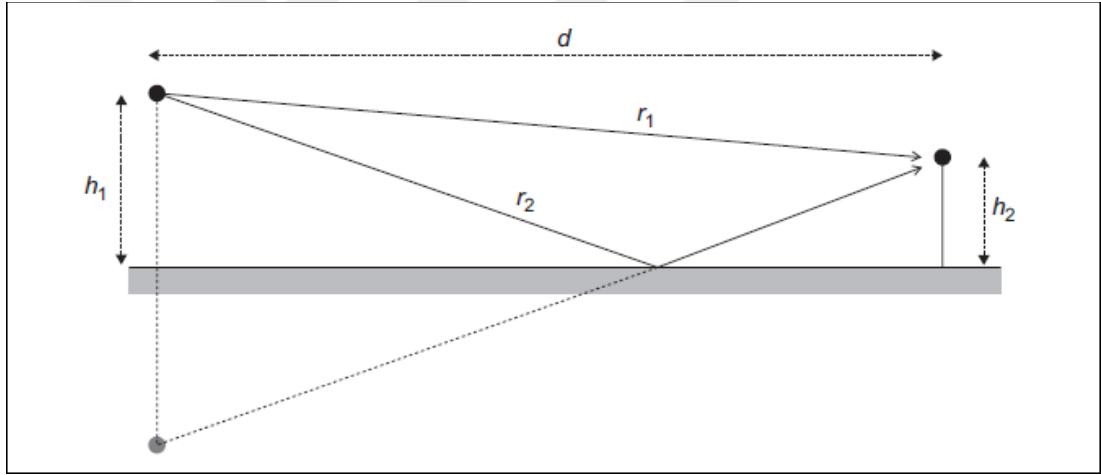
Düzlem dalgalar için yansıma katsayısı gelen ve yansıyan dalganın kompleks elektrik alan şiddetlerinin oranı " $R = \frac{E_r}{E_i}$ " olarak tanımlanır ve bu dalga şekil 3.3'deki gibi dikey ve yatay bileşenlere sahiptir. İkili polarizasyon durumunda yansıma katsayısı (Nagy 2007);  $R_h$ , yatay bileşen ve  $R_v$ , dikey bileşen olmak üzere denklem 50 ve 51'de gösterilmiştir.

$$R_h = \frac{\epsilon_r \cos \theta - \sqrt{\epsilon_r + \cos^2 \theta - 1}}{\epsilon_r \cos \theta + \sqrt{\epsilon_r + \cos^2 \theta - 1}} \quad (50)$$

$$R_v = \frac{\cos \theta - \sqrt{\epsilon_r + \cos^2 \theta - 1}}{\cos \theta + \sqrt{\epsilon_r + \cos^2 \theta - 1}} \quad (51)$$

$\epsilon_r$ , düzlemsel arayüzdeki iki ortamın kompleks dielektrik malzeme parametreleri oranıdır.

Nispeten açık alanlarda, eğim ve arazi değişimleri göz ardı edilerek dalga yayılımı için düzlem-dünya (iki ışın) modeli alıcıya direk olarak gelen ve engellerden yansıtılarak gelen dalgaların bileşiminin belirlenmesi için fazör ifadeye sahip model kullanılabilir. Bu yapı basit olmasına rağmen pratikte gözlenen davranış için fiziksel bir temel sağlar (Barclay 2013). Şekil 3.4 bize yansıma geometri modelini anlatır. Bu modele göre denklem 52 de  $P_R$  ifadesi alıcının gücünü,  $P_T$  ifadesi ise kaynağın gücünü belirtir.



**Şekil 3.4.** Yansıma geometri modeli (Barclay 2013)

$$P_R = P_T \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| e^{\left( \frac{-kjr_1}{r_1} \right)} + \Gamma e^{\left( \frac{-kjr_2}{r_2} \right)} \right|^2 \quad (52)$$

$$\text{Yansıma Katsayısı, } \Gamma = \frac{E_r}{E_i} \quad (53)$$

$$\text{Dalga numarası, } k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (54)$$

Birden fazla duvar veya çok katlı zemin arasındaki sinyal zayıflaması radyo dalgalarının yol kaybına neden olmaktadır. Denklem 55’de verilen uzaklık güç kayıpları katsayıları ve frekans ile duvar yada katların oluşturacağı toplam güç kayıpları hesaplanmaktadır.

İncelenen bu model ile her katın yada kat içindeki her bir engelin kayba etkisi bulunabilir (Ghasemi ve ark. 2013).

$$L_t = 20 \log f + N \log d + L_f(n) - 28 \quad (55)$$

Denklemdaki N mesafe güç kaybı katsayısını, f MHz cinsinden frekansı, d baz istasyonu ve alıcı anten arasındaki mesafeyi,  $L_f$  kat nüfuz kayıp faktörünü, n ise baz istasyonu alıcı anten arasındaki kat sayısını göstermektedir (Ghasemi ve ark. 2013).

Çizelge 3.6, N, güç katsayısını verir. Çizelge 3.7, ise dB cinsinden  $L_f$ 'yi vermektedir.

**Çizelge 3.6.** N, güç kayıp katsayısı (Anonim 2012)

Frekans	Özel Konut	Ofis	Çalışma alanı
900 MHz	-	33	20
1.2-1.3 GHz	-	32	22
1.8-2 GHz	28	30	22
2.4 GHz	28	30	-
3.5 GHz	-	27	-
4 GHz	-	28	22

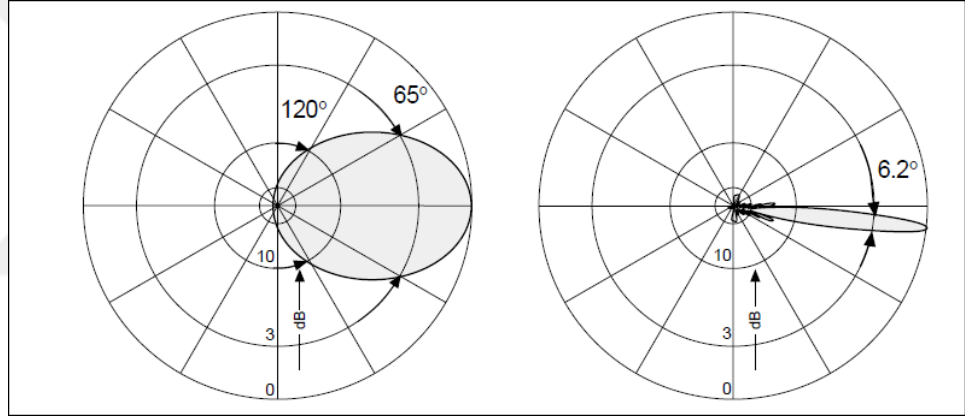
**Çizelge 3.7.** Kat nüfuz kayıp faktörü  $L_f$ , dB cinsinden (Anonim 2012)

Frekans	Özel Konut	Ofis	Çalışma alanı
900 MHz	-	9 (1 kat) 19 (2 kat) 24 (3 kat)	-
1.8-2 GHz (n kat)	4n	15+4(n-1)	6+3(n-1)
2.4 GHz	10 (apartman) 5 (ev)	14	-
3.5 GHz	-	18(1 kat) 26 (2 kat)	-
5.2 GHz	13 (apartman) 7 (ev)	16(1 kat)	-

Örnek modelde ; 40 W çıkış güçlü baz istasyonu 1.9 GHz`de yayın yapmaktadır, Çizelge 3.6`dan N değeri 30, Çizelge 3.7`den  $L_f$  değeri  $15 + 4(n-1)$  `den  $n=1$  kat olarak alındığında 15 dB`dir, baz istasyonu ile alıcı anten arasındaki d mesafesi ise 190 m`dir.

$$L_t = 20 \log(1900) + 30. \log(190) + 15 - 28 = 120.93 \text{ dB}$$

Dünya üzerindeki mobil telekomünikasyon ağının sağlanması için baz istasyonları belirli teknik özelliklere sahiptir. Bu teknik özelliklerin içerisinde antenlerin ışınma örüntü yapısı elektromanyetik alan ölçüm noktasının belirlenmesinde önemli bir parametredir. Şekil 3.5`de verilen ışınma örüntüsü referans alınarak yerleşke içerisinde dış ortamda bulunan baz istasyonu etrafındaki ölçüm noktaları belirlenmiştir.

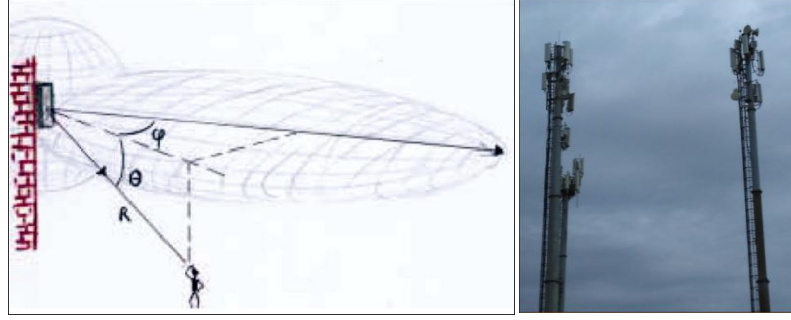


**Şekil 3.5.** 2 Boyutlu Olarak Baz İstasyonu Işınma Örüntüsü (Anonim 2010b)

Şekil 3.5 `deki anten ışınma örüntüsüne göre; örnek olarak incelenen şekil 3.6`daki modelde baz istasyonu anteninin yerden yüksekliği ( $R_y$ ) 20 m olarak alındığında, antenden gözlem noktasına uzaklığı belirten R`nin yataydaki bileşeni ( $R_x$ ) ;

$$\frac{R_y}{R_x} = \tan 6,2^\circ \rightarrow R_x \cong 185.185 \text{ metre}$$

olarak hesaplanır.



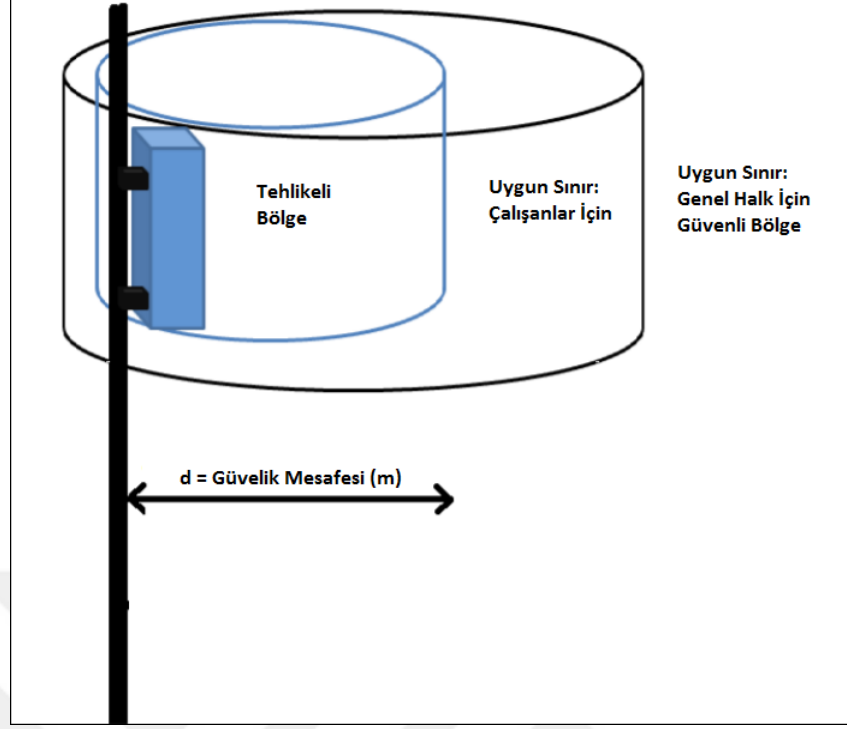
**Şekil 3.6.** Uzak Alanda Baz İstasyonuna Maruz Kalan İnsan (Bechet ve Michalus 2006)

Hesaplanan  $R_x$  mesafesi antenden yayılan elektromanyetik dalganın toprak düzlemi ile temas ettiği ilk noktadır.

### 3.4 Güvenlik Mesafesi

Baz istasyonlarındaki antenlerin çıkış noktasında elektromanyetik radyasyon oranı çok yüksektir. Radyasyon oranının baz istasyonu yakınında yüksek olması sebebiyle şekil 3.7’de görülen güvenlik mesafesi modeli önerilmektedir (Chakraborty ve Singh 2013). Bu model üç noktaya ayrılmaktadır. Bu noktalar tehlike bölgesi, çalışanlar için maruziyet bölgesi ve genel halk maruziyet bölgesidir. ICNIRP standardına göre çalışanlar için maruziyet limit değerleri genel halk maruziyeti limit değerlerinden yüksektir. Ancak ülkemizdeki yasal standartlara göre tehlikeli bölge yalnızca emniyet mesafesi olarak belirlenmiştir, diğer iki bölge bu hesaplamaların dışında tutulmuştur. BTK’nın vermiş olduğu yöntemle güvenlik mesafesi denklem 56 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{güvenlik mesafesi, } d = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot 10^{10} \frac{G}{E}}}{E} \text{ [metre]} \quad (56)$$



**Şekil 3.7.** Önerilen Güvenlik Mesafesi Modeli

### 3.5 Elektrik Alan Ölçü Aleti

Elektrik alan ölçümlerinde BTK tarafından onaylı, SRM 3006 ölçüm aleti kullanılmıştır. Dış görünüşü şekil 3.8`deki gibi olan SRM 3006 cihazı 9 kHz - 6 GHz frekans aralığında yüksek frekanslı elektromanyetik alanların, güvenlik analizini ve çevresel ölçümlerini yapabilen portatif olarak kullanılan aynı zamanda elde taşınabilecek boyutta bir frekans seçici ölçüm sistemidir. Ölçüm aletinin dahili GPS modülü bulunmaktadır. Bu sayede yapılan ölçümler; ölçüm zamanları ve konumlarını da içeren bir raporlamayla sunulabilmektedir (Narda 2010b). Çizelge 3.8`de elektrik alan ölçü aletinin teknik özelliklerine yer verilmiştir.



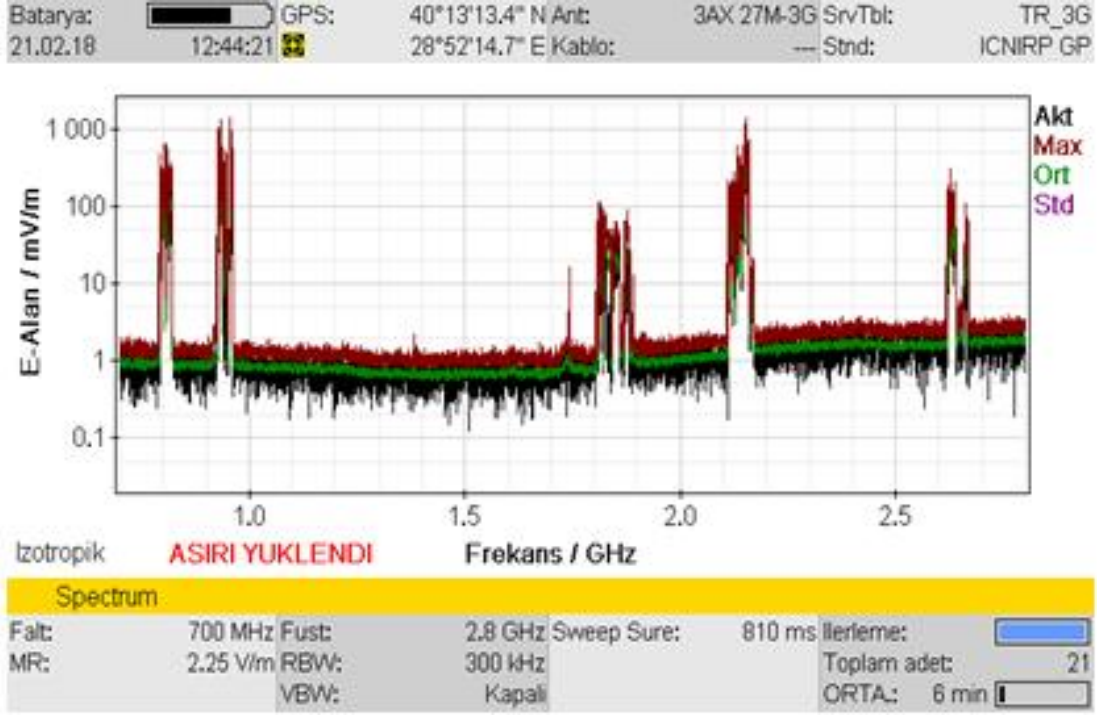


**Şekil 3.8.** SRM 3006 Ölçü Aleti (Narda 2010b)

Cihazın ölçüm aralığı 9 kHz ile 6 GHz arasında olsa da kullanılan antenden dolayı ölçülebilen maksimum frekans 3 GHz olmuştur. Elektrik alan ölçümü için kullanılan izotropik anten, geniş bir frekans bandına sahiptir. Ölçüm yapabildiği her bir frekans değeri için x,y,z koordinat sistemindeki boyutları ifade etmek üzere her üç yönde de izotropik özelliğe sahip olmalıdır. Antenin küresel şekli de bu özelliğini koruması içindir. Bant genişliği yüksek olduğu anten kazancında iyileştirme yapılabilmesi için antenin, faz ve nötr olmak üzere iletken kısımlarının her birine dirençler bağlanır. x,y,z eksenlerinde ölçüm esnasında değerlerinin birbirine girişim yapmaması için bu iletkenlerin üzerine ferrit malzeme eklenerek kublaj yapılır.

**Çizelge 3.8.** Elektrik Alan Ölçü Aletinin Kullanılan Anten Çeşidi İle Teknik Özellikleri (Narda 2010b)

Anten Çeşidi	Üç eksenli E-alan anteni 3501/03 (İzotropik)
Frekans menzili	27 MHz – 3 GHz Kalibrasyon sırasında ayrı ayrı belirlenen ve EEPROM’a kaydedilen düzeltme faktörleri, SRM–3006 ana ünite ile birlikte kullanıldığında otomatik olarak uygulanır.
Anten tipi	Elektrik Alanı
Algılayıcı tipi	Taranan eksenlerle birlikte üç eksenli tasarım
Maksimum Alan Şiddeti	435 V/m veya 50 mW/cm <sup>2</sup>
SRM–3006 ana ünite ile birlikte açığa çıkan iç gürültü (tek eksenin ayrı ölçümü)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 kHz çözünürlük bant genişliği ile (RBW) 90 MHz’de 25 µV/m</li><li>• 1 kHz çözünürlük bant genişliği ile (RBW) 2.1 Ghz’de 40 µV/m</li></ul>
SRM–3006 ana ünite ile birlikte açığa çıkan iç gürültü (izotropik sonuç için)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 kHz çözünürlük bant genişliği ile (RBW) 900MHz’de 40 µV/m</li><li>• 1 kHz çözünürlük bant genişliği ile (RBW) 2.1 GHz’de 70 µV/m</li></ul>
Ölçüm menzili sınırı (tekli CW sinyali)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 300 V/m</li><li>• f = 110 MHz için 1000 V/m</li></ul>
Maksimum ölçüm menzili (SRM–3006 ana ünite ile birlikte açığa çıkan)	200 V/m (27 MHz ila 3 GHz toplam genişliği için sınırlama olmaksızın)
RF konektörü	N konektör, 50 ohm



Şekil 3.9. Ölçüm cihazı anlık ölçüm ekranı

Ölçüm cihazının özelliklerinden biri de spektrum modunda çalışabilmesidir. Şekil 3.9'da gösterilen bu modda servis tablosunda yer alan herhangi bir frekans için spektrum analizi yapabilmek mümkün olmaktadır. İstenilen frekansın anlık değeri görülebildiği için kritik noktalarda ölçüm alınırken önce spektrum analizi yapılarak en şiddetli elektromanyetik alan değerinin yakalandığı yerde ortalama ölçüm alınmıştır. Cihazda yer alan servis tablosu ise cihaz ekranında örnek olarak şekil 3.10'daki gibi gözükmektedir.

Battery: 27.10.09 GPS: 15:03:29 Ant: 48°27'28.8" N 9°13'50.9" E Cable: 3AX 75M-3G --- Stnd: Full Band EU ICNIRP GP

Table View: Standard

Index	Service	Max	Avg	Min
2	FM-Radio	56.45 mV/m	54.18 mV/m	52.89 mV/m
3	Mid	15.48 mV/m	14.81 mV/m	14.19 mV/m
4	Paging	7.912 mV/m	7.195 mV/m	6.477 mV/m
5	BandIII	17.73 mV/m	17.25 mV/m	16.78 mV/m
6	Trains	1.548 mV/m	1.214 mV/m	1.006 mV/m
7	BandIV	24.60 mV/m	23.80 mV/m	23.15 mV/m
8	BandV	9.484 mV/m	9.167 mV/m	8.928 mV/m
9	GSM-R	221.9 mV/m	192.8 mV/m	173.2 mV/m
10	L-Band	6.895 mV/m	6.668 mV/m	6.446 mV/m
	Others	50.85 mV/m	50.45 mV/m	49.96 mV/m
	Total	259.4 mV/m	223.7 mV/m	206.5 mV/m

Isotropic

Safety Evaluation

MR: 1.8 V/m RBW: 200 kHz (Auto) Sweep Time: 4.482 s Progress:   
Noise Suppr.: Off No. of Runs: 573  
AVG: 6 min

**Şekil 3.10.** Cihazın ekranından servis tablosu görünümü

Bu şekilde servis tablounda yer alan her bir frekans için ayrıntılı ölçüm alabilmek mümkün olmaktadır.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

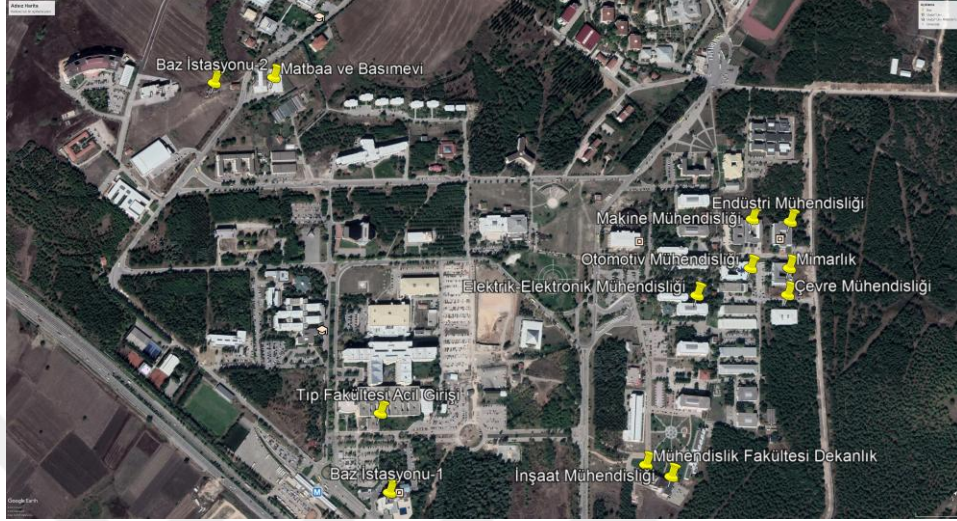
Bursa Uludağ Üniversitesi; Tıp, İktisadi ve İdari Bilimler, Mühendislik, Veteriner, Ziraat, Fen-Edebiyat, Eğitim, Mimarlık, Spor Bilimleri ve Sağlık Bilimleri Fakültelerinin Tamamı İle Güzel Sanatlar Fakültesinin Resim Bölümü, Devlet Konservatuar, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Ve Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Enstitüler, Bölüm Başkanlıkları Ve Rektörlük Merkez Binası, şehir merkezine 18 Km. uzaklıktaki 16.000 dönüm arazi üzerine kurulu ana yerleşim birimi olan Görükle Yerleşkesi`nde faaliyetlerini sürdürmektedir. İlahiyat Fakültesi; Fethiye Yerleşkesi`nde, Yabancı Diller Yüksekokulu ve Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Ali Osman Sönmez Yerleşkesi`nde hizmet vermektedir. Hukuk Fakültesi, Gemlik Necati Kurtuluş Denizcilik Yüksekokulu, Gemlik Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu, Gemlik'te bulunan Gemlik Sunipek-Asım Kocabıyık Yerleşkesi'nde, Güzel Sanatlar Fakültesi ise Mudanya'da hizmet vermektedir. Mustafakemalpaşa, Karacabey, İnegöl, İznik, Yenişehir İbrahim Orhan, Orhangazi, Orhaneli, Keles, Harmancık ve Büyükorhan ilçelerinde bulunan yüksekokullarımız ise eğitim ve öğretim faaliyetlerini isimlerini aldıkları ilçelerde sürdürmektedirler. Bu çalışmada Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Görükle Yerleşkesi incelenmiş olup uydu görüntüsü şekil 4.1`de verilmiştir.



**Şekil 4.1.** Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Görükle Yerleşkesi uydu görüntüsü

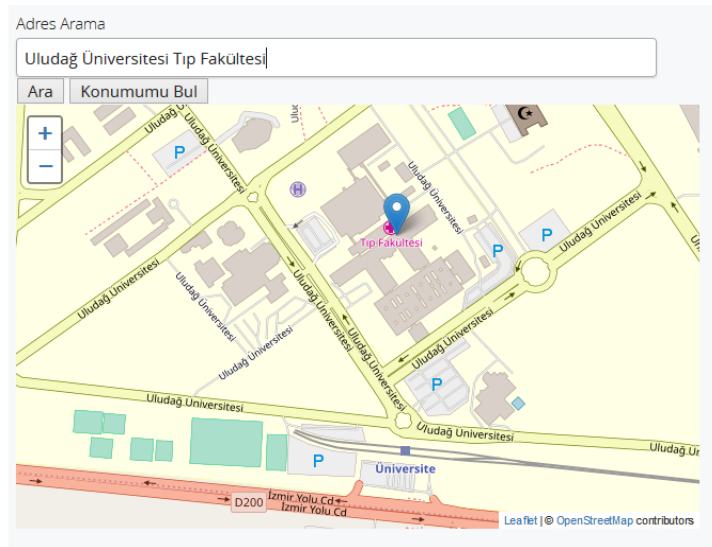


Görükle Yerleşkesi içinde 2 adet GSM baz istasyonu bulunmaktadır. Bunların yerleşim yerleri, şekil 4.2`de görüldüğü üzere Tıp Fakültesi Acil Girişinin karşısı ve Üniversite Matbaa-Basım Evinin karşısında bulunmaktadır.



**Şekil 4.2.** Bursa Uludağ Üniversitesi içerisinde yer alan baz istasyonlarının uydu görüntüsü üzerinde gösterimi

BTK E-Devlet uygulaması üzerinden baz istasyonu ölçüm değerlerini halkla paylaşmaktadır. E devlet üzerinden alınan BTK verilerine göre Baz istasyonu 1 için ölçümün konumu şekil 4.3`de görülmektedir.



**Şekil 4.3.** E devlet`deki BTK verilerine göre Baz istasyonu 1 için ölçümün konumu



**Şekil 4.4.a** E devlet üzerinden alınan BTK verilerine göre Baz istasyonu 1 ölçüm değeri Değerler toleransla olmakla birlikte şekil 4.4.a üzerinde de görüldüğü gibi ölçülen Elektrik Alan değeri Baz İstasyonu-1 için 1.3 V/m olarak verilmiştir.



**Şekil 4.4.b** E devlet üzerinden alınan BTK verilerine göre Baz istasyonu 2 ölçüm değeri Baz istasyonu-2 için ölçüm değeri ise şekil 4.4.b`de, 2,18 V/m olarak verilmiştir. BTK tarafından verilen bu ölçüm değerler hukuki bir ispat teşkil etmediği için bir kıyas

olarak alınmamalıdır. Eldeki ölçüme ait verilerin değerlendirilmesi için bir seçenek olarak düşünülmesi daha uygun olacaktır.

Yapılacak ölçümler için cihaz üzerinde servis tabloları Türkiye’de kullanılan frekans bandları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Servis tablosu 27 MHz-3 GHz aralığında olup 50 adet frekans bandına ayrılarak ölçümler alınmıştır. Bu sayede her bir frekans bandından gelen etkiyi ayrı ayrı gözlemlemek mümkün hale gelmiştir. Görükle Yerleşkesi içinde SRM-3006 selektif radyasyon metre ile yapılan, belirlenen noktadaki ölçümler servis tablosunda belirlenen frekans aralıkları doğrultusunda raporlanmıştır. Ölçüm noktaları seçilirken WIFI dağıtım noktaları ve baz istasyonları dikkate alınmıştır. Elde edilen raporlardaki elektrik alan değerlerine dayanılarak sayısal bir haritalama oluşturulmuştur. Ölçümlerde her bir nokta için 27 MHz- 3 GHz frekans aralığındaki ortama etki eden toplam ortalama elektrik alan değeri ve maksimum elektrik alan değeri tespit edilmiştir. Haritalama için elde edilen bu iki veri kullanılmıştır.

Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre mobil iletişim altyapısından kaynaklı 700 MHz-2800 MHz frekans bandı aralığındaki maksimum değer çizelge 4.1’de görüldüğü gibi 5.672 V/m’dir, bunun yanı sıra WIFI dağıtım noktaları dikkate alındığında elde edilen maksimum değer ise 1.66 V/m olarak gözlemlenmiştir.

**Çizelge 4.1.** Yerleşke içinde 94 noktada alınan ölçümler

	<b>Ölçüm Noktası</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
<b>1</b>	Cevre Muh.	40,2268333	28,8775278	0,1691	0,08725
<b>2</b>	Mimarlik	40,2271667	28,87675	0,1217	0,08961
<b>3</b>	Endustri Muh.	40,2276944	28,8766667	0,2358	0,0953
<b>4</b>	Makine Muh. 1	40,2273889	28,8761389	0,09701	0,08497



**Çizelge 4.1.** Yerleşke içinde 94 noktada alınan ölçümler (devam)

5	Makine Muh. 2	40,227876	28,875699	1,614	0,3544
6	Otomotiv Muh. 1	40,227	28,8763889	0,5397	0,1266
7	Otomotiv Muh. 2	40,2266111	28,87575	2,157	0,2372
8	Dekanlik 1	40,2225278	28,8777778	0,3625	0,2223
9	Dekanlik 2	40,2223611	28,8776389	0,2678	0,1506
10	Elektronik Muh.1	40,225368	28,875295	0,158	0,1067
11	IIBF 1	40,22618	28,87534	1,076	0,1482
12	IIBF 2	40,22677	28,87507	0,4445	0,1059
13	IIBF 3	40,22729	28,87451	1,367	0,2626
14	Veteriner Fakültesi 1	40,22797	28,8741	0,8228	0,1244
15	Veteriner Fakültesi 2	40,22872	28,87381	0,8488	0,1706
16	Hayvan Hastanesi	40,22946	28,87409	0,678	0,115
17	Is Bankasi Onu	40,22604	28,87434	0,7806	0,4375
18	Egitim Fakültesi 1	40,22505	28,87674	1,671	0,2537
19	Egitim Fakültesi 2	40,22455	28,87698	1,3	0,1833
20	Enstituler	40,22424	28,87798	0,6958	0,2367
21	Egitim Fakültesi 3	40,22312	28,87769	1,328	0,6157
22	Guzel Sanatlar 1	40,22344	28,87622	1,187	0,3031
23	Kutuphane Onu	40,22538	28,87387	0,702	0,2792
24	Guzel Sanatlar 2	40,22577	28,87332	0,7198	0,2583
25	Cim Alan	40,22492	28,87166	1,107	0,4935

**Çizelge 4.1.** Yerleşke içinde 94 noktada alınan ölçümler (devam)

<b>26</b>	Mediko Sosyal Onu	40,22432	28,87033	1,06	0,6147
<b>27</b>	Mediko Bankamatikler	40,22457	28,86957	0,8549	0,2387
<b>28</b>	Kres Onu	40,22497	28,86786	2,204	0,216
<b>29</b>	Fen-Edebiyat Dekanlık	40,22418	28,86647	1,261	0,2382
<b>30</b>	Fen-Sosyal Bilimler Arasi	40,22346	28,86531	3,008	1,939
<b>31</b>	Sosyal Bilimler Onu	40,22276	28,86401	0,8881	0,61
<b>32</b>	Spor Bilimleri Capraz	40,22254	28,86193	2,155	1,429
<b>33</b>	Baz Istasyonu	40,22267	28,86085	2,936	1,58
<b>34</b>	Konservatuar Onu	40,22097	28,86202	1,984	1,383
<b>35</b>	Elektronik Muh. Arkasi	40,22624	28,87618	1,062	0,2494
<b>36</b>	Cevre Muhendisligi Yan	40,22633	28,87729	0,8335	0,1727
<b>37</b>	MYO	40,22564	28,8779	0,5472	0,1091
<b>38</b>	Fen Bilimleri Ens.Arka	40,22482	28,87852	0,5958	0,1969
<b>39</b>	Cevre-Mimarlık Arka	40,22725	28,87833	1,224	0,162
<b>40</b>	Mimarlik-Endustri Arka	40,22798	28,87754	1,092	0,2421

**Çizelge 4.1.** Yerleşke içinde 94 noktada alınan ölçümler (devam)

<b>41</b>	Hayvan Hastanesi Arka	40,22954	28,876	0,5059	0,1945
<b>42</b>	Hayvan Hastanesi Kose	40,23078	28,87496	0,4266	0,1101
<b>43</b>	Otobus Duraklari	40,22993	28,87278	0,7656	0,4657
<b>44</b>	Veterinerlik On	40,22901	28,87268	1,198	0,4904
<b>45</b>	Kutuphane Arka	40,22732	28,87239	1,562	0,8196
<b>46</b>	Kutuphane Capraz	40,22599	28,87237	1,282	0,942
<b>47</b>	Halkbank Yani	40,22469	28,8747	0,4395	0,3398
<b>48</b>	Camii Arka	40,22346	28,87338	1,319	0,7844
<b>49</b>	Itfaiye Onu	40,22205	28,87221	1,938	1,545
<b>50</b>	Hastane otopark 1	40,2211	28,87209	3,556	2,68
<b>51</b>	Hastane otopark 2	40,22106	28,87275	2,91	2,055
<b>52</b>	Hastane Onu	40,21985	28,87096	2,93	1,818
<b>53</b>	Hastane Bufe Onu	40,21903	28,86954	3,138	2,161
<b>54</b>	Onkoloji Hastane Yani	40,21959	28,86886	2,287	1,271
<b>55</b>	Rektorluk Bina	40,22051	28,86771	0,3093	0,2431
<b>56</b>	Egitim Birimleri Onu	40,22154	28,86718	0,2491	0,1824
<b>57</b>	Omer Halis Demir Toren Alanı	40,22226	28,86629	0,4896	0,3035
<b>58</b>	Mete Cengiz Kultur Merkezi	40,22281	28,86777	0,8997	0,2501

**Çizelge 4.1.** Yerleşke içinde 94 noktada alınan ölçümler (devam)

<b>59</b>	Oğretim Uyesi Yemekhane	40,22337	28,86878	0,8668	0,2258
<b>60</b>	Camii Onu	40,22394	28,87227	0,8647	0,5497
<b>61</b>	Hastane Otopark 3	40,22313	28,87065	2,077	1,449
<b>62</b>	Kutuphane Onu Cim Alan	40,2246	28,87209	0,6924	0,4541
<b>63</b>	Amfi Tiyatro	40,22617	28,87101	1,171	0,7751
<b>64</b>	Oğrenci Yurdu Nilufer Hatun	40,22729	28,8707	0,3745	0,2449
<b>65</b>	Guvenlik Mudurlugu	40,22857	28,87093	0,5958	0,125
<b>66</b>	Baz Istasyonu Altı	40,21774	28,87196	0,7454	0,2664
<b>67</b>	Tip Karsi kafeterya	40,21993	28,87121	2,914	1,846
<b>68</b>	Tip karsi otopark	40,21974	28,87108	2,734	1,8
<b>69</b>	Tip onu refuj	40,21994	28,87085	3,45	2,354
<b>70</b>	Tip bahce 1	40,22014	28,87067	4,251	2,918
<b>71</b>	Tip bahce 2	40,22023	28,87058	4,46	2,735
<b>72</b>	Tip bahce 3	40,22038	28,87075	5,056	3,584
<b>73</b>	Tip bahce 4	40,22042	28,87085	5,672	4,314
<b>74</b>	Tip bahce 5	40,21973	28,86979	4,362	3,282
<b>75</b>	Tip otopark	40,22085	28,87166	3,785	2,922
<b>76</b>	Makine giris	40,2277	28,87578	0,8078	0,1679
<b>77</b>	Makine giris sol	40,22782	28,87563	1,38	0,1429

**Çizelge 4.1.** Yerleşke içinde 94 noktada alınan ölümler (devam)

78	Makine giris arka	40,22756	28,87585	1,644	0,2404
79	Makine giris sag	40,22747	28,87573	1,455	0,2253
80	Makine ust arka	40,22767	28,87587	1,692	0,327
81	Makine ust sag	40,22758	28,8757	0,9503	0,1905
82	Makine ust giris	40,22758	28,87604	0,7987	0,1322
83	Makine ust sol	40,22763	28,87578	0,9163	0,1309
84	Makine ust cati	40,22723	28,87587	0,8002	0,2227
85	Makine ogr 1	40,22776	28,87547	1,92	0,4009
86	Makine ogr 2	40,22759	28,87579	0,8675	0,1652
87	Baz 1. nokta	40,22323	28,86205	4,171	2,65
88	Baz 2. nokta	40,22331	28,86184	3,092	2,44
89	Baz 3.nokta	40,22345	28,86158	3,487	2,837
90	Baz 4.nokta	40,22341	28,86081	2,223	1,717
91	Baz 5.nokta	40,22412	28,86258	5,331	4,268
92	Baz 6.nokta	40,22422	28,86276	5,567	3,857
93	Baz 7.nokta	40,22419	28,86227	4,677	3,602
94	Baz 8.nokta	40,22295	28,86243	3,373	2,255

94 noktada alınan bu ölçümlerde elektromanyetik dalganın yayılımındaki etkilerden bazıları gözlemlenmiştir. Baz istasyonunu aynı açıyla gören birden fazla noktada mesafe değişimine ek olarak yeryüzü ve bitki örtüsünden yansıma etkisi gözlemlenmiştir. Tıp Fakültesi Hastanesi karşısında bulunan baz istasyonunda ise birden fazla ölçüm noktası kullanılarak yansıma etkisinin mesafe açığa göre değişkenliği tecrübe edilmiştir. Bu noktalarda ölçüm değerleri dalganın direkt kendisi ve ortamda yaptığı yansımaların toplamı şeklinde olmaktadır. Ölçüm cihazı frekans seçici özelliğe sahip olsa da ölçüm yapılan ortamlar elektromanyetik girişim yönünden

izole edilemediğinden kırınım, yansıma ve zayıflama etkileri sadece sonuç nezdinde yorumlanabilmektedir. Literatürde yer alan ampirik yöntemlerle elde edilen veriler ışığında yaklaşık hesaplar üzerinde çalışılmasına rağmen bu etkilerin her birini nümerik olarak hesaplamak imkanlar neticesinde mümkün değildir. Ancak bir fikir vermesi açısından aydınlatıcı olabilir.

Çizelge 4.2`de Üniversite Hastanesi kliniklerindeki ölçümlerde de EM dalganın ilerlemesindeki zayıflama etkisi gözlemlenebilmiştir. Çizelge 4.3`deki ölçümler baz istasyonu ile yaklaşık aynı yükseklikte ve istasyonu yatay olarak gören cam önü ve aynı konumun paralellinde duvar arkasında alınmıştır. Burada da duvar arkasında alınan değerlerin, cam önünde alınan değerlere göre büyük ölçüde zayıfladığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 4.2.** Üniversite Hastane ölçümleri

	<b>Ölçüm noktaları</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
<b>1</b>	Onkoloji giriş	3,274	2,095
<b>2</b>	Onkoloji bekleme salonu	1,003	0,2085
<b>3</b>	Cocuk onkoloji 1 kat	0,7135	0,1592
<b>4</b>	Cocuk onkoloji 2 kat	0,4118	0,206
<b>5</b>	cocuk onkoloji 3 kat	1,414	0,9757
<b>6</b>	cocuk onkoloji 3 kat-2	0,2265	0,1404
<b>7</b>	Tıp giriş 1	0,8641	0,3786
<b>8</b>	Klinik 5.kat cam	5,308	3,713
<b>9</b>	Klinik 5.kat duvar	1,247	0,8107
<b>10</b>	Klinik 6.kat cam	5,227	3,979
<b>11</b>	Klinik 6.kat duvar	1,169	0,7953

**Çizelge 4.2.** Üniversite Hastane ölçümleri (devam)

<b>12</b>	Göğüs hastalıkları 6.	1,346	0,2203
<b>13</b>	Acil onu	0,4574	0,1872
<b>14</b>	Acil ici	1,024	0,1525
<b>15</b>	Poliklinik kapısı giriş	1,394	0,3422
<b>16</b>	2.kat okuma salonu	2,788	2,182
<b>17</b>	3.kat cam kenari	5,433	4,218
<b>18</b>	3.kat organ nakil koridor	4,948	3,577
<b>19</b>	3. kat karaciger nakil	4,908	3,653
<b>20</b>	Cocuk noroloji 1	0,2774	0,1083
<b>21</b>	Cocuk noroloji 2	0,4062	0,1099
<b>22</b>	Cocuk üroloji	3,408	1,736
<b>23</b>	klirik 1. kat	2,67	1,44
<b>24</b>	koridor 1	0,7614	0,1137
<b>25</b>	koridor 2	0,9316	0,2592
<b>26</b>	klirik 3.kat	4,538	2,888
<b>27</b>	Klinik 4. kat	4,21	3,079
<b>28</b>	Klinik 5. kat	0,8552	0,527
<b>29</b>	Klinik 5. kat uç	3,813	2,52
<b>30</b>	Klinik 6. kat	5,021	2,815
<b>31</b>	Klinik 7. kat 1	4,67	3,172
<b>32</b>	Klinik 7. kat 2	0,9226	0,5754
<b>33</b>	Göz hastalıkları	0,6756	0,1843

**Çizelge 4.2.** Üniversite Hastane ölçümleri (devam)

<b>34</b>	Tip onu refuj	3,45	2,354
<b>35</b>	Tip bahce 1	4,251	2,918
<b>36</b>	Tip bahce 2	4,46	2,735
<b>37</b>	Tip bahce 3	5,056	3,584
<b>38</b>	Tip bahce 4	5,672	4,314
<b>39</b>	Tip bahce 5	4,362	3,282
<b>40</b>	Tip otopark	3,785	2,922
<b>41</b>	Hastane Onu	2,93	1,818
<b>42</b>	Onkoloji Hastane Yani	2,287	1,271

Çizelge 4.3. ile gösterilen Üniversite Hastanesi`nde cam ve duvar arkası alınan ölçümler:

**Çizelge 4.3.** Üniversite Hastanesi`nde cam ve duvar arkası alınan ölçümler

	<b>Ad</b>	<b>Maksimum Değer [V/m]</b>	<b>Ortalama Değer [V/m]</b>
<b>1</b>	Klinik 5.kat cam	5,308	3,713
<b>2</b>	Klinik 5.kat duvar	1,247	0,8107
<b>3</b>	Klinik 6.kat cam	5,227	3,979
<b>4</b>	Klinik 6.kat duvar	1,169	0,7953

Bu zayıflama etkisi ayrıntılı olarak incelenmek istenirse 5. ve 6. kat için servis tablolarıyla beraber ölçüm değerleri çizelge 4.4 ve çizelge 4.5`de verilmiştir.



**Çizelge 4.4.** Üniversite Hastanesi`nde 5. kat için servis tablosuyla beraber ayrıntılı ölçümler

<b>1</b>	<b>Frekans Değeri</b> <b>[MHz]</b>	<b>Cam Ortalama Deger</b> <b>[V/m]</b>	<b>Duvar Ortalama Deger</b> <b>[V/m]</b>
<b>2</b>	Band	0,03889	0,02459
<b>3</b>	FM	0,02854	0,02051
<b>4</b>	VHF	0,03959	0,02474
<b>5</b>	UHF	0,04045	0,02484
<b>6</b>	Avea_800	0,9575	0,2028
<b>7</b>	Vodafone_811	1,226	0,2471
<b>8</b>	Turkcell_811	0,6005	0,1289
<b>9</b>	Avea_840	0,005682	0,003549
<b>10</b>	Vodafone_852	0,005679	0,003547
<b>11</b>	Turkcell_862	0,005771	0,00362
<b>12</b>	Avea_887	0,004981	0,003168
<b>13</b>	Avea_890,1	0,002811	0,001774
<b>14</b>	Turkcell_901	0,006034	0,003841
<b>15</b>	Turkcell_902	0,00221	0,001388
<b>16</b>	Vodafone_913	0,009157	0,004359
<b>17</b>	Vodafone_914	0,004408	0,001921
<b>18</b>	Avea_932	0,4509	0,1347
<b>19</b>	Avea_935	0,2663	0,07442
<b>20</b>	Turkcell_946	0,2918	0,08905
<b>21</b>	Turkcell_947	0,1788	0,0508

**Çizelge 4.4.** Üniversite Hastanesi`nde 5.kat için servis tablosuyla beraber ayrıntılı ölçümler (devam)

<b>22</b>	Vodafone_958	0,6166	0,1754
<b>23</b>	Vodafone_959	0,2846	0,08599
<b>24</b>	Avea_1725	0,005763	0,003656
<b>25</b>	Avea_1745	0,006747	0,005089
<b>26</b>	Turkcell_1774	0,008412	0,005209
<b>27</b>	Vodafone_1784	0,004875	0,003025
<b>28</b>	Avea_1820	1,131	0,2089
<b>29</b>	Avea_1840	0,6085	0,123
<b>30</b>	Turkcell_1869	0,7979	0,1455
<b>31</b>	Vodafone_1879	1,044	0,1744
<b>32</b>	Turkcell_1940	0,008839	0,005517
<b>33</b>	Vodafone_1955	0,007959	0,004923
<b>34</b>	Avea_1970	0,008398	0,007009
<b>35</b>	Turkcell_1980	0,006554	0,004109
<b>36</b>	Vodafone_2015	0,00495	0,003098
<b>37</b>	Turkcell_2025	0,006994	0,004367
<b>38</b>	Turkcell_2130	2,283	0,5249
<b>39</b>	Vodafone_2145	0,2392	0,04647
<b>40</b>	Avea_2160	0,6374	0,1457
<b>41</b>	Turkcell_2170	0,04801	0,01188
<b>42</b>	WLAN	0,03363	0,02068

**Çizelge 4.4.** Üniversite Hastanesi`nde 5. kat için servis tablosuyla beraber ayrıntılı ölçümler (devam)

43	Turkcell_2525	0,0163	0,01006
44	Vodafone_2540	0,01265	0,007846
45	Avea_2550	0,01038	0,00649
46	Avea_2585	0,01275	0,007986
47	Vodafone_2595	0,01045	0,006526
48	Turkcell_2605	0,01052	0,006435
49	Turkcell_2645	0,9595	0,2042
50	Vodafone_2660	0,01519	0,008456
51	Avea_2670	0,3989	0,09233

Çizelge 4.5 ile gösterilen 6. kat için servis tablosuyla beraber ölçüm değerleri:

**Çizelge 4.5.** Üniversite Hastanesi`nde 6.kat için servis tablosuyla beraber ayrıntılı ölçümler

1	Frekans Degeri [ MHz]	Cam Ortalama Deger [V/m]	Duvar Ortalama Deger [V/m]
2	Band	0,02801	0,02469
3	FM	0,02379	0,02389
4	VHF	0,02804	0,02496
5	UHF	0,0297	0,02507
6	Avea_800	0,7288	0,1824
7	Vodafone_811	0,9285	0,3038

**Çizelge 4.5.** Üniversite Hastanesi`nde 6.kat için servis tablosuyla beraber ayrıntılı ölçümler (devam)

<b>8</b>	Turkcell_811	0,4479	0,1457
<b>9</b>	Avea_840	0,004043	0,003599
<b>10</b>	Vodafone_852	0,004022	0,00359
<b>11</b>	Turkcell_862	0,004071	0,003665
<b>12</b>	Avea_887	0,003602	0,003215
<b>13</b>	Avea_890,1	0,00205	0,001839
<b>14</b>	Turkcell_901	0,004365	0,003861
<b>15</b>	Turkcell_902	0,001538	0,001355
<b>16</b>	Vodafone_913	0,01741	0,003958
<b>17</b>	Vodafone_914	0,001711	0,001577
<b>18</b>	Avea_932	0,6945	0,1313
<b>19</b>	Avea_935	0,327	0,05719
<b>20</b>	Turkcell_946	0,3761	0,06327
<b>21</b>	Turkcell_947	0,2654	0,04669
<b>22</b>	Vodafone_958	0,6217	0,1734
<b>23</b>	Vodafone_959	0,2807	0,07218
<b>24</b>	Avea_1725	0,004115	0,005807
<b>25</b>	Avea_1745	0,005019	0,00422
<b>26</b>	Turkcell_1774	0,0062	0,005251
<b>27</b>	Vodafone_1784	0,003479	0,003097
<b>28</b>	Avea_1820	1,234	0,1966

**Çizelge 4.5.** Üniversite Hastanesi`nde 6. kat için servis tablosuyla beraber ayrıntılı ölçümler (devam)

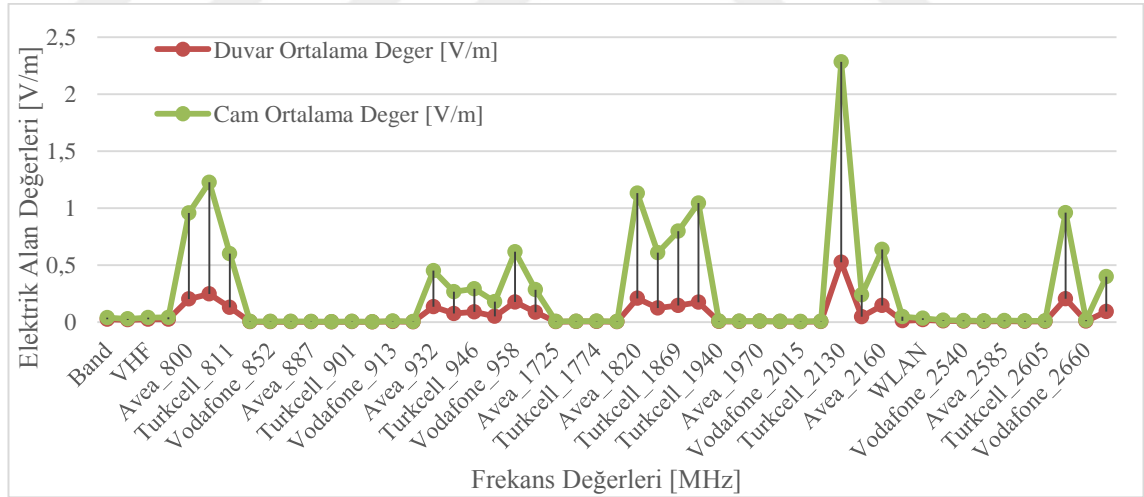
<b>29</b>	Avea_1840	0,882	0,1182
<b>30</b>	Turkcell_1869	0,9528	0,1464
<b>31</b>	Vodafone_1879	0,7957	0,1609
<b>32</b>	Turkcell_1940	0,006259	0,005537
<b>33</b>	Vodafone_1955	0,005549	0,005063
<b>34</b>	Avea_1970	0,005768	0,00504
<b>35</b>	Turkcell_1980	0,004637	0,004143
<b>36</b>	Vodafone_2015	0,003565	0,003096
<b>37</b>	Turkcell_2025	0,004963	0,004379
<b>38</b>	Turkcell_2130	2,698	0,5085
<b>39</b>	Vodafone_2145	0,3502	0,06121
<b>40</b>	Avea_2160	0,8779	0,1348
<b>41</b>	Turkcell_2170	0,04485	0,01251
<b>42</b>	WLAN	0,02418	0,02077
<b>43</b>	Turkcell_2525	0,01144	0,01014
<b>44</b>	Vodafone_2540	0,008947	0,007948
<b>45</b>	Avea_2550	0,007363	0,006508
<b>46</b>	Avea_2585	0,008991	0,00798
<b>47</b>	Vodafone_2595	0,007378	0,006466
<b>48</b>	Turkcell_2605	0,007363	0,006466
<b>49</b>	Turkcell_2645	0,9133	0,1733

**Çizelge 4.5.** Üniversite Hastanesi`nde 6.kat için servis tablosuyla beraber ayrıntılı ölçümler (devam)

50	Vodafone_2660	0,01213	0,008524
51	Avea_2670	0,3303	0,08028

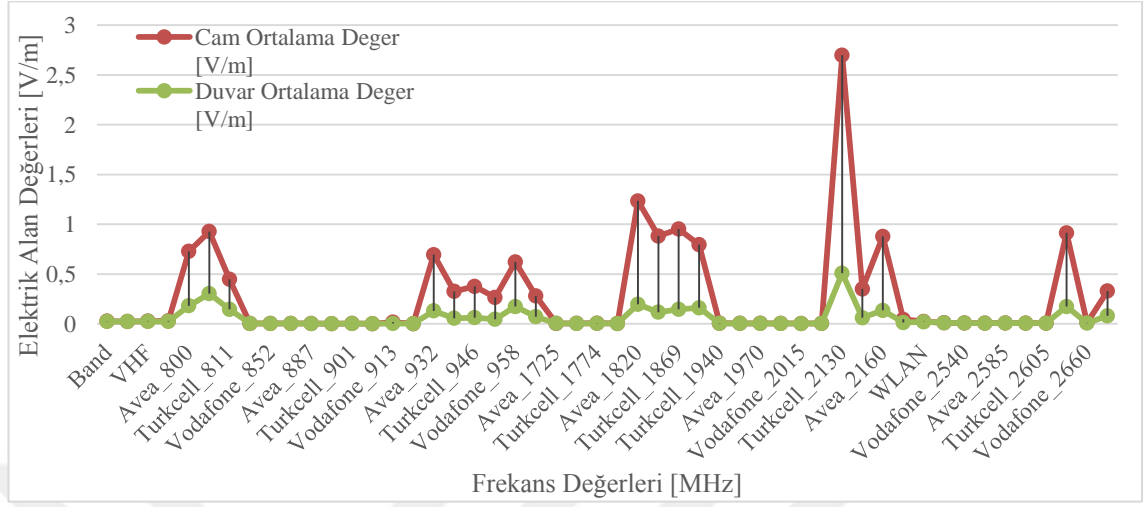
Üniversite Hastanesi`nde alınan ayrıntılı ölçüm tablosuna bakıldığında 5. katta görülen en yüksek elektrik alan değeri 2,283 V/m olarak ölçülmüştür. 6. katta ise en yüksek alan değeri 2,698 V/m olarak ölçülmüştür. Ölçüm değerlerinin bu şekilde çıkmasında baz istasyonu ile karşılıklı bir konumda olmasının da etkisi vardır. Her iki kat içinde maksimum elektrik alan değerleri 2130 Mhz`de aynı frekans bandında gözlemlenmiştir. Bu frekans bandının ölçüm zamanı ve farklı mobil şebeke kullanan insanların sayısına göre değişebileceği unutulmamalıdır. Bu iki veriyi grafik halinde incelemek istersek, şekil 4.5 ve şekil 4.6`daki gibidir.

5. kat için:



**Şekil 4.5.** Üniversite Hastanesi 5. kat için ölçüm verilerinin grafik halinde gösterimi

6. kat için:



**Şekil 4.6.** Üniversite Hastanesi 6. kat için ölçüm verilerinin grafik halinde gösterimi

Elimizdeki farklı zamanlara ait ölçümlere dayanarak başka bir kıyas daha yapmak mümkün olmaktadır. Üniversite hastanesi çevresinde 1 yıl arayla alınan ölçümler ve aynı yıl içinde haftalık alınan ölçümler bulunmaktadır. Bunları incelediğimizde 2017 Şubat ayı içinde alınan ölçümlerde çizelge 4.6`daki değerler gözlemlenmiştir.

**Çizelge 4.6.** 2017 Şubat Ayı Üniversite Hastane ölçümleri

1	Enlem	Boylam	Max E Alan [V/m]	Ort E Alan [V/m]
2	40,2211	28,87209	3,556	2,68
3	40,22106	28,87275	2,91	2,055
4	40,21985	28,87096	2,93	1,818
5	40,21903	28,86954	3,138	2,161
6	40,21959	28,86886	2,287	1,271
7	40,22051	28,86771	0,3093	0,2431
8	40,22154	28,86718	0,2491	0,1824

**Çizelge 4.6.** 2017 Şubat Ayı Üniversite Hastane ölçümleri (devam)

<b>9</b>	40,21993	28,87121	2,914	1,846
<b>10</b>	40,21974	28,87108	2,734	1,8
<b>11</b>	40,21994	28,87085	3,45	2,354
<b>12</b>	40,22014	28,87067	4,251	2,918
<b>13</b>	40,22023	28,87058	4,46	2,735
<b>14</b>	40,22038	28,87075	5,056	3,584
<b>15</b>	40,22042	28,87085	5,672	4,314
<b>16</b>	40,21973	28,86979	4,362	3,282
<b>17</b>	40,22085	28,87166	3,785	2,922

2018 Şubat Ayı`da yapılan ölçümlerde ise çizelge 4.7`deki değerler gözlemlenmiştir.

**Çizelge 4.7.** 2018 Şubat ayı Üniversite Hastane ölçümleri

<b>1</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Mak E Alan [V/m]</b>	<b>Ort E Alan [V/m]</b>
<b>2</b>	40,22087	28,871786	3,7268	2,6544
<b>3</b>	40,220636	28,871042	3,6096	2,7266
<b>4</b>	40,220408	28,870822	5,2796	3,5912
<b>5</b>	40,22014	28,87051	5,1458	3,6138
<b>6</b>	40,220092	28,870658	4,1076	3,0206
<b>7</b>	40,220202	28,87087	3,7218	2,6862
<b>8</b>	40,220312	28,871092	3,7016	2,6678
<b>9</b>	40,219862	28,870518	2,1354	1,4058



**Çizelge 4.7.** 2018 Şubat ayı Üniversite Hastane ölçümleri (devam)

10	40,219844	28,86981	4,3572	3,165
11	40,219888	28,869572	4,742	3,2814
12	40,219206	28,869972	2,9768	2,231
13	40,219838	28,870932	2,8876	2,033
14	40,220848	28,87239	4,2282	3,0552
15	40,22138	28,871882	3,4876	2,5706
16	40,221552	28,87179	3,4628	2,566

2017 Şubat ayı için elde edilen ölçüm sonuçlarının haritalamasını yaptığımızda şekil 4.7'deki gibi olmaktadır.



**Şekil 4.7.** 2017 Şubat ayı Üniversite Hastane ölçümlerinin harita üzerinde gösterimi

2017 Şubat ayında ölçülen en yüksek elektrik alan değeri hastane girişinin yanında 5,672 V/m olarak gözlenmiştir. En düşük değer ise acil girişi karşısında rektörlük binası yanında 0.2491 V/m olarak ölçülmüştür, bu değer nispeten düşük çıkması ölçüm

noktasının fiziki şartlarından kaynaklanmaktadır, ölçüm noktasında elektromanyetik dalganın direkt maruziyetine engel teşkil eden binalar ve açılı ile orman örtüsü bulunmaktadır. 2018 Şubat ayı içinde elde edilen ölçüm sonuçlarının haritalamasını yaptığımızda şekil 4.8`deki gibi olmaktadır.



**Şekil 4.8.** 2018 Şubat ayı Üniversite Hastane ölçümlerinin harita üzerinde gösterimi

2018 Şubat ayında ölçülen en yüksek elektrik alan değeri hastane girişinin yanında 5,2796 V/m olarak gözlemlenmiştir. Buradaki en düşük elektrik alan değeri ise 2,1354 V/m olarak ölçülmüştür, bu noktadaki nispeten düşük değer ölçülmesi yine ölçüm noktasının fiziki şartlarından kaynaklanmaktadır. Her iki ölçümde fark edilen ortak noktalardan birisi de hastane girişini karşıdan gören baz istasyonunun düşey polarizasyon açısının dışına çıktığında ölçüm değerlerinin zayıfladığı görülmektedir.

2017 ve 2018 yılları içinde Üniversite Hastanesi çevresinde alınan ölçümlerde dikkat edilmesi gereken bir önemli nokta da her iki yıl için en büyük elektrik alan şiddetinin ölçüldüğü konumun baz istasyonunu karşıdan gören bir nokta olmasıdır. Buradan hareketle şu yargıya varılabilir elektromanyetik alan kaynağı ile etkilenen arasında bir fiziki engel olmadığı takdirde oluşan maruziyet en yüksek seviyede olmaktadır. Kaynağa olan mesafe, açılı, coğrafi şekiller ve bitki örtüsü gibi fiziki şartlar, maruziyet

kaynağının elektriksel gücü, çalışma frekansı, dalga yayılım biçimi gibi teknik özellikleri maruziyetin etkisini direkt olarak değiştirebilmektedir.

Bu iki ölçüme ek olarak ölçümlerin tutarlılığını da göstermek amacıyla 2018 yılının Şubat ayı içinde Üniversite Hastanesi çevresinde hafta içi 5 gün boyunca aynı saatte aynı konumlardan ölçümler alınmıştır. Bu ölçümleri tablolar halinde gösterdiğimizde 1.gün için çizelge 4.8`deki gibi olmaktadır.

**Çizelge 4.8.** 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 1. gün ölçümleri

<b>1</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
<b>2</b>	40,22085	28,87178	3,822	2,693
<b>3</b>	40,22063	28,87105	3,558	2,829
<b>4</b>	40,22044	28,87081	5,055	3,638
<b>5</b>	40,22011	28,87054	5,395	3,81
<b>6</b>	40,22009	28,87065	4,047	3,105
<b>7</b>	40,22021	28,87086	3,886	2,777
<b>8</b>	40,22033	28,8711	3,649	2,636
<b>9</b>	40,21984	28,87053	2,133	1,426
<b>10</b>	40,21985	28,86981	4,392	3,129
<b>11</b>	40,2199	28,8696	4,289	3,146
<b>12</b>	40,21922	28,86994	3,186	2,396
<b>13</b>	40,21988	28,87101	2,975	2,199
<b>14</b>	40,22086	28,8724	4,38	3,357
<b>15</b>	40,2213	28,8721	4,048	3,039
<b>16</b>	40,22147	28,87184	3,573	2,766

2. gündeki ölçümler çizelge 4.9`daki gibi olmaktadır.

**Çizelge 4.9.** 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 2. gün ölçümleri

<b>1</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
2	40,22089	28,87182	4,004	2,722
3	40,22063	28,87109	3,661	2,808
4	40,2204	28,87082	5,338	3,768
5	40,22018	28,8705	5,056	3,61
6	40,22013	28,87066	4,833	3,055
7	40,22024	28,87085	3,622	2,532
8	40,22033	28,8711	4,057	2,674
9	40,21986	28,87055	2,693	1,525
10	40,21985	28,86977	3,997	3,034
11	40,21988	28,86953	4,841	3,379
12	40,2192	28,86995	2,922	2,293
13	40,21982	28,87088	2,984	1,951
14	40,22086	28,8724	3,968	2,722
15	40,2214	28,87187	3,222	2,357
16	40,22155	28,87176	2,991	2,233

3. gün deki ölçümler çizelge 4.10`daki gibi olmaktadır.

**Çizelge 4.10.** 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 3. gün ölçümleri

<b>1</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
2	40,22088	28,87181	3,243	2,498

**Çizelge 4.10.** 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 3. gün ölçümleri (devam)

3	40,22063	28,87107	3,102	2,468
4	40,2204	28,87081	5,321	3,524
5	40,22016	28,87048	4,845	3,234
6	40,2201	28,87064	3,767	2,787
7	40,22018	28,87089	3,564	2,442
8	40,2203	28,8711	3,39	2,51
9	40,21992	28,87049	1,868	1,392
10	40,21986	28,86981	4,922	3,535
11	40,21987	28,8696	4,388	3,156
12	40,2192	28,86998	2,813	2,095
13	40,21981	28,87088	2,745	2,022
14	40,22086	28,87238	4,45	3,029
15	40,22141	28,87183	3,508	2,401
16	40,22158	28,87177	3,747	2,734

4. gündeki ölçümler çizelge 4.11`deki gibi olmaktadır.

**Çizelge 4.11.** 2018 Şubat ayı Ünivesite Hastanesi 4. gün ölçümleri

1	Enlem	Boylam	Maksimum E Alan [V/m]	Ortalama E Alan [V/m]
2	40,22086	28,87177	3,599	2,633
3	40,22067	28,87096	3,971	2,769
4	40,2204	28,87085	4,916	3,193
5	40,22019	28,87047	5,035	3,663
6	40,22008	28,87067	3,378	2,713

**Çizelge 4.11.** 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 4. gün ölçümleri (devam)

7	40,22019	28,87087	3,461	2,723
8	40,22031	28,87107	3,965	2,808
9	40,21987	28,87051	1,971	1,339
10	40,21985	28,86983	4,004	2,824
11	40,21988	28,86961	4,516	3,022
12	40,21922	28,86998	3,043	2,231
13	40,21984	28,87095	2,718	1,933
14	40,22086	28,87237	3,828	2,676
15	40,22141	28,87181	3,091	2,381
16	40,22156	28,87178	3,306	2,422

5. gündeki ölçümler çizelge 4.12`deki gibi olmaktadır.

**Çizelge 4.12.** 2018 Şubat ayı Üniversite Hastanesi 5. gün ölçümleri

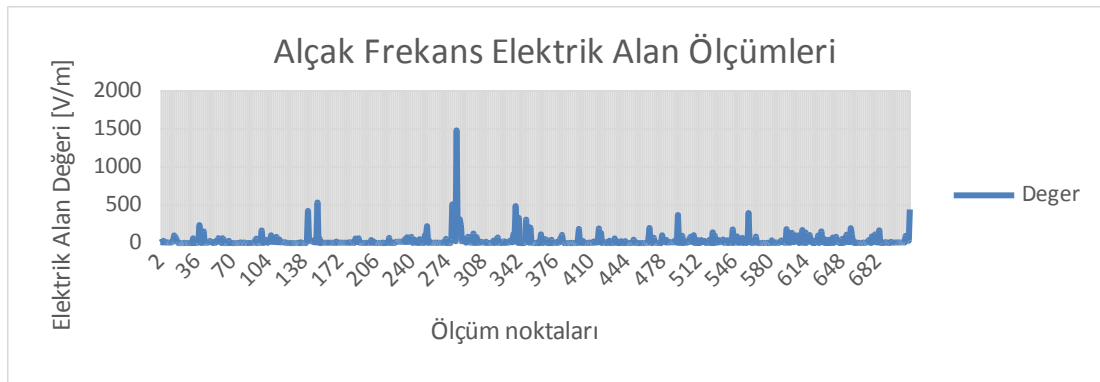
1	Enlem	Boylam	Maksimum E Alan [V/m]	Ortalama E Alan [V/m]
2	40,22087	28,87175	3,966	2,726
3	40,22062	28,87104	3,756	2,759
4	40,2204	28,87082	5,768	3,833
5	40,22006	28,87056	5,398	3,752
6	40,22006	28,87067	4,513	3,443
7	40,22019	28,87088	4,076	2,957
8	40,22029	28,87109	3,447	2,711
9	40,21982	28,87051	2,012	1,347
10	40,21981	28,86983	4,471	3,303

**Çizelge 4.12.** 2018 Şubat ayı üniversite hastanesi 5. gün ölçümleri (devam)

11	40,21991	28,86952	5,676	3,704
12	40,21919	28,87001	2,92	2,14
13	40,21984	28,87094	3,016	2,06
14	40,2208	28,8724	4,515	3,492
15	40,22138	28,8718	3,569	2,675
16	40,2216	28,8718	3,697	2,675

5 gün boyunca alınan ölçümlerin sonucunda elde edilen değerlerin tutarlı olduğu görülmüştür. 1 yıl önce ve 1 yıl sonrasındaki ölçümlerinde olduğu gibi her bir ölçüm için en yüksek elektrik alan değerinin görüldüğü nokta üniversite hastane girişinin bulunduğu yerdir. Konumlar itibariyle incelendiğinde de görülecektir ki ortam şartları da göz önüne alındığında yaklaşık olarak aynı değerler ölçülmüştür.

Alçak frekans ölçümlerinde ise Görükle Yerleşkesi içinde toplam 712 adet ölçüm alınmıştır. Bu ölçümlerin her biri 30 saniyelik ortalamalar şeklinde kayda geçmiştir. Şekil 4.9'daki grafik bize 712 noktaya göre ölçülen alçak frekans elektrik alan değerlerini vermektedir.



**Şekil 4.9.** Üniversite Görükle Yerleşkesi'nde alçak frekans ölçümü grafik gösterimi

Burada en yüksek ölçüm değeri 1480,81 V/m olarak gözlemlenmiştir. Alçak frekans bölgesinde yüksek alan şiddetlerinin görüldüğü yerler; trafo merkezleri, yerleşke

içindeki yüksek gerilim hatlarına olan yakınlık mesafesine göre değişiklik göstermektedir. Ancak bu etki mesafeyle ters orantılı olduğundan bu kaynaklardan uzaklaştıkça etkinin azaldığı gözlenmiştir.

Yüksek frekans ölçümleri Görükle Yerleşkesi içindeki Mühendislik Fakültesi'nde de ayrıntılı olarak yapılmıştır. Konumlar tüm şartlar göz önünde bulundurularak özenle seçilmiştir. Mühendislik Fakültesi'nde yapılan ölçümler çizelge 4.13'de tablo halinde verilmiştir.

**Çizelge 4.13.** Mühendislik Fakültesi ölçümleri çizelge gösterimi

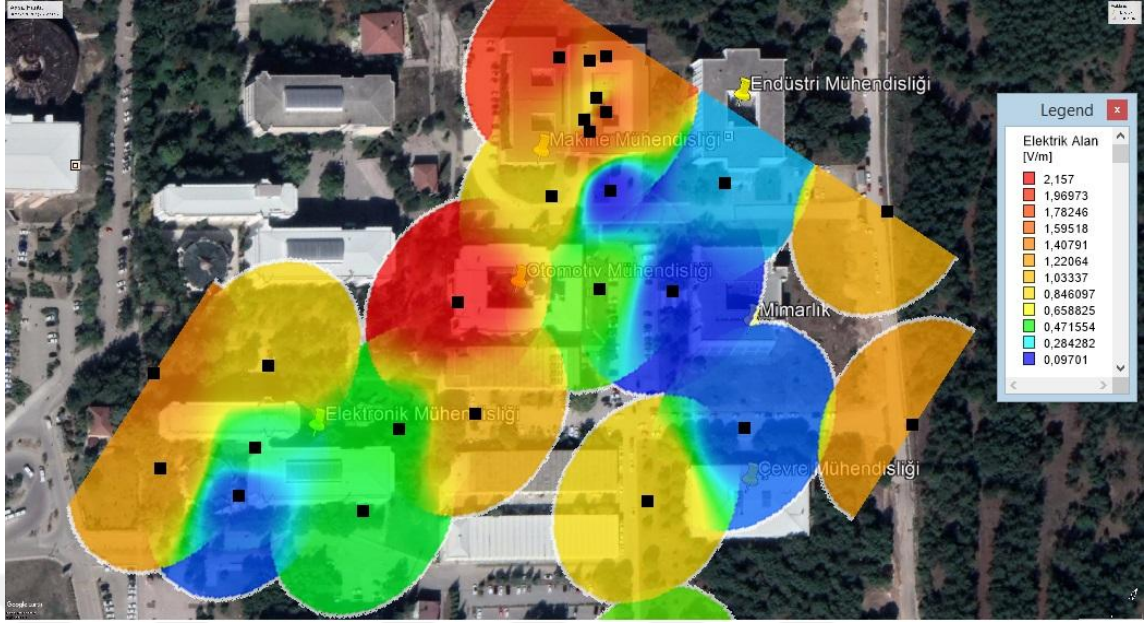
<b>1</b>	<b>Ad</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
<b>2</b>	Makine Müh giriş	40,2277	28,87578	0,8078	0,1679
<b>3</b>	Makine Müh giriş 2	40,22782	28,87563	1,38	0,1429
<b>4</b>	Makine Müh giriş arka	40,22756	28,87585	1,644	0,2404
<b>5</b>	Makine 3	40,22767	28,87587	1,692	0,327
<b>6</b>	Makine üst 2	40,22723	28,87587	0,8002	0,2227
<b>7</b>	Makine ogr 1	40,22776	28,87547	1,92	0,4009
<b>8</b>	Makine ogr 2	40,22759	28,87579	0,8675	0,1652
<b>9</b>	Elektronik Müh 1	40,2259167	28,8750278	0,8616	0,2054
<b>10</b>	Elektronik Müh 2	40,2256111	28,8745	1,373	0,4181
<b>11</b>	Elektronik Müh 3	40,2252778	28,8748333	1,178	0,3366
<b>12</b>	Elektronik Müh 4	40,2255833	28,8752222	0,4013	0,141
<b>13</b>	Elektronik Müh 5	40,2256111	28,8759444	0,438	0,1325
<b>14</b>	Elektronik Müh 6	40,226	28,8758611	0,4673	0,1417



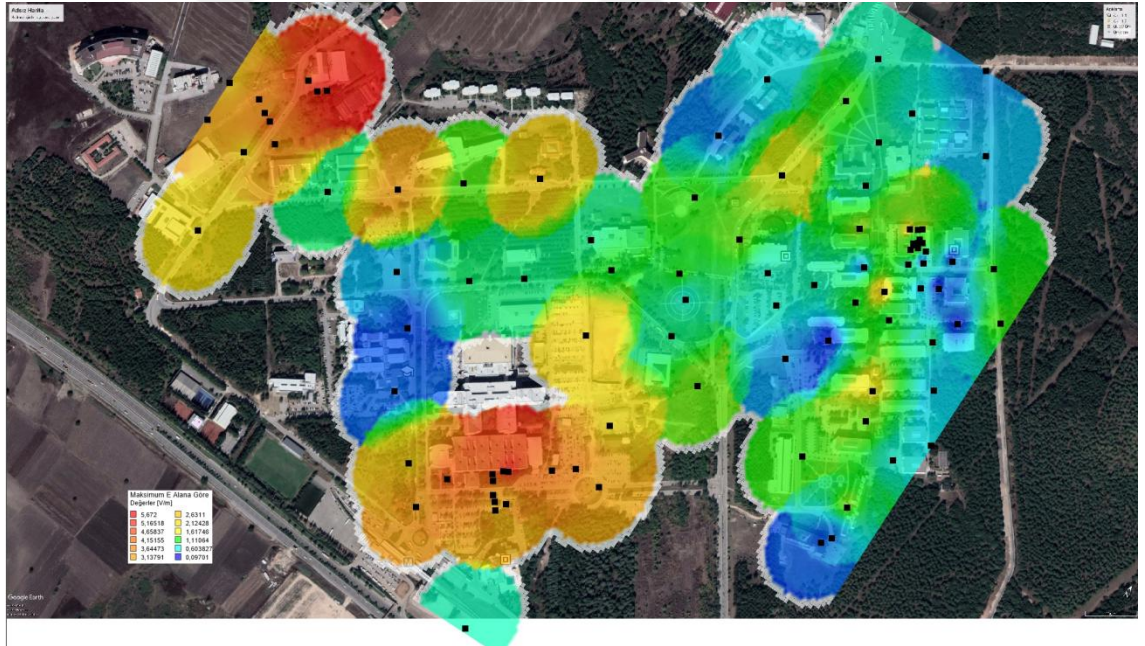
**Çizelge 4.13:** Mühendislik Fakültesi ölçümleri çizelge gösterimi (devam)

15	Elektronik Müh. Arkası	40,22624	28,87618	1,062	0,2494
16	Çevre Müh Yan	40,22633	28,87729	0,8335	0,1727
17	MYO	40,22564	28,8779	0,5472	0,1091
18	Çevre-Mimarlık Arka	40,22725	28,87833	1,224	0,162
19	Mimarlık-Endüstri Müh Arka	40,22798	28,87754	1,092	0,2421
20	Çevre Müh.	40,2268333	28,8775278	0,1691	0,08725
21	Mimarlık	40,2271667	28,87675	0,1217	0,08961
22	Endüstri Müh.	40,2276944	28,8766667	0,2358	0,0953
23	Makine Müh. 1	40,2273889	28,8761389	0,09701	0,08497
24	Makine Müh. 2	40,227876	28,875699	1,614	0,3544
25	Otomotiv Müh. 1	40,227	28,8763889	0,5397	0,1266
26	Otomotiv Müh. 2	40,2266111	28,87575	2,157	0,2372
27	Dekanlık 1	40,2225278	28,8777778	0,3625	0,2223
28	Dekanlık 2	40,2223611	28,8776389	0,2678	0,1506
29	Elektronik Müh 7	40,225368	28,875295	0,158	0,1067

Çizelge 4.13`daki maksimum elektrik alan değerine göre Mühendislik Fakültesi`nde yapılan ölçümlerin şekil 4.10`da haritalandırılmış hali gözükmemektedir. Aynı şekilde şekil 4.10a, çizelge 4.1`deki maksimum elektrik alan değerlerine göre Görükle Yerleşkesi`nin haritalandırılmış halidir.



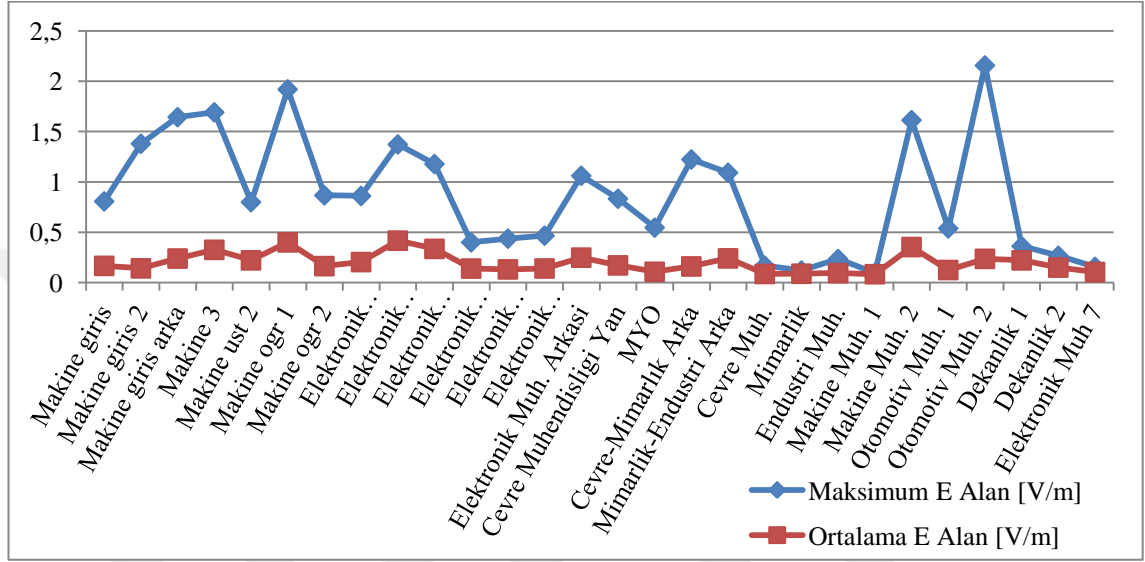
**Şekil 4.10.** Mühendislik Fakültesi elektromanyetik alan ölçümleri harita üzerinde gösterimi



**Şekil 4.11.** Üniversite Görükle Yerleşkesi elektromanyetik alan ölçümleri harita üzerinde gösterimi

## 5.SONUÇ

Mühendislik Fakültesi`nde alınan ölçümlerde şekil 5.1`den de görülebileceği gibi maksimum elektrik alan değeri 2,157 V/m, en düşük elektrik alan değeri ise 0,09701 V/m olarak görülmüştür.



**Şekil 5.1.** Mühendislik Fakültesi ölçümleri grafik gösterimi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Çevre Mühendisliği, Mimarlık Ve Otomotiv Mühendisliği binaları fiziki şartları göz önüne alındığında nispeten baz istasyonu antenlerinin ışınma örüntüsü dışında kalmaktadır. Bu nedenle mühendislik fakültesinin geneli düşünüldüğünde ölçüm değerlerine en az etki eden unsur mobil iletişim altyapısıdır. Buna rağmen Otomotiv Mühendisliği binasının bir bölümü üniversite yerleşkesi içinde yer alan baz istasyonunu görmektedir bu sebepten ötürü mühendislik fakültesi içindeki en yüksek elektrik alan değeri bu noktada ölçülmüştür.

Elektrik-Elektronik Mühendisliği binası içinde ölçülen 1 V/m üzerindeki elektrik alan değerleri WIFI dağıtım noktalarına yakın yerlerde ölçülmüştür.

Yapılan ölçümlerde mühendislik fakültesi için en önemli parametre elektromanyetik dalga kaynağına olan mesafe olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca farklı yapı tasarımları ve kullanılan malzeme çeşitliliği (beton yoğunluğu, demir miktarı, elektrik iç tesisatı) gibi

faktörler de kaynağın yaydığı elektromanyetik dalganın yayılım şeklini değiştirdiği için ölçüm noktasındaki elektrik alan değerini de değiştirmektedir. Bu etkiye örnek vermek gerekirse makine mühendisliği binasında bir noktada alınan elektrik alan ölçüm değeri 0,09701 V/m olarak görülmüştür, bu değerın çıkmasındaki en büyük etken binada taşıyıcı olarak kullanılan çelik konstrüksiyon yoğunluğudur, yapıdaki bu çelik konstrüksiyon elektromanyetik dalganın ilerleyişi açısından Faraday kafesi etkisi göstermekte dışarıdan gelen elektromanyetik dalga etkisini minimuma indirirken aynı zamanda bina içinde yayılım yapan kaynakların (WIFI dağıtım noktası) etkisini de burayla sınırlı tutmaktadır. Alçak frekans ölçümlerinde ise dikkat çeken en büyük nokta yüksek gerilim hattı ve trafo istasyonlarına yaklaşıldığında ölçülen elektrik alan değerin artması olarak gözlemlenmiştir. Tüm ölçüm sonuçları göz önüne alındığında ölçüm değerlerinin yönetmelikteki en düşük sınır değer olan 12,3 V/m değerinin altında kaldığı görülmüştür.

Elektromanyetik alanın insan sağlığına etkilerine ilişkin çalışmalar olsa da, bu çalışmalar insanda oluşan veya oluşabilecek rahatsızlıklara dair sadece istatistiksel bir yaklaşım içindedir. Bilimdeki ihtiyatlılık ilkesi düşünülürse herhangi bir rahatsızlığın direkt sebebi elektromanyetik alan etkilenimi olarak verilmese de, sağlık açısından sorunlara yol açabileceğine dair soru işaretleri her zaman akıllarda yer almaktadır. Bu nedenle elektromanyetik alan etkisini minimuma indirebilmek için bazı pratik önlemler almak da her bireyin yapması gerekenlerdir. Bunlardan ilk akla gelenleri sıralayacak olursak:

- 1) Büyümekte olan, gelişme çağındaki çocukların cep telefonu kullanım olabildiğince geciktirilmelidir.
- 2) Cep telefonları ile konuşma süresi mümkün olabildiğince az tutulmalı ve konuşma esnasında vücuttan uzak tutularak konuşulmalıdır.
- 3) Kullanılan cep telefonlarının SAR değerine dikkat edilmeli, mümkün mertebe en düşük SAR değerine sahip cihazlar kullanılmalıdır.

- 4) Kalbe olan etkileri düşünülðünde, cep telefonu kalp ve göğüs hizasında taşınmamalıdır.
- 5) Baz istasyonu arasındaki hücre değişimleri esnasında cep telefonlarının elektromanyetik dalga yayılımı yüksek seviyede olacağından, hareket halinde insan bedenine mümkün olan uzak bir noktada taşımak bu etkiyi azaltacaktır.
- 6) Baz istasyonunun güçlü çekim yaptığı noktalarda görüşme yapmak etkilenim açısından faydalı olacaktır.
- 7) Cep telefonları uyku sırasında etkilenimi minimuma indirebilmek için baş bölgesinden uzak ve mümkünse kapalı konumda bırakılmalıdır.
- 8) Hamileler ve gebelik şüphesi bulunanlar bu mobil iletişim cihazları kullanımını minimuma indirmeli ve mümkünse acil durumlar haricinde kullanmamalıdır.
- 9) İkamet edilen yerlerde oturlan konutların yüksek gerilim hattı, trafo istasyonları ve şalt sahalarına mümkün mertebe uzak seçilmesi de gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abdel-Rassoul, G., et al., 2007.** Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *Neurotoxicology*, 28(2): p. 434-440.
- Anonim, 1998.** ICNIRP Guidelines, (1998) Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300 Ghz), *Health Physics* 74(4): 494-522.
- Anonim, 1999.** COST 231, Digital mobile radio towards future generation systems, 1999, European Commission Directorate General XIII, Information Society: Telecommunications, Markets, Technologies, Innovation and Exploitation of Research Directorate, Brussels.
- Anonim, 2002.** National Institute of Environmental Health Sciences, (2002) Electric and Magnetic Fields Associated with the Use of Electric Power, [https://www.niehs.nih.gov/health/materials/electric\\_and\\_magnetic\\_fields\\_associated\\_with\\_the\\_use\\_of\\_electric\\_power\\_questions\\_and\\_answers\\_english\\_508.pdf](https://www.niehs.nih.gov/health/materials/electric_and_magnetic_fields_associated_with_the_use_of_electric_power_questions_and_answers_english_508.pdf) (ziyaret tarihi: 21/11/2018).
- Anonim, 2004.** Electronic Communications Committee (ECC)within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), "ECC/REC/(02)04", <http://www.erodocdb.dk/docs/doc98/official/pdf/ECCRec0204.pdf> (ziyaret tarihi: Kasım 2018)
- Anonim, 2009.** Natural Background And Human-Made Sources And Exposure. [https://www.who.int/pehemf/publications/3\\_EHC\\_232\\_Sources\\_and\\_Exposure.pdf](https://www.who.int/pehemf/publications/3_EHC_232_Sources_and_Exposure.pdf) (ziyaret tarihi Aralık 2018)
- Anonim, 2010a.** ICNIRP Guidelines (2010) , For Limiting Exposure To Time-Varying Electric And Magnetic Fields (1 Hz – 100 Khz), *Health Physics* 99(6):818-836, 2010.
- Anonim, 2010b.** Kathrein. (2010) Multi-band F-Panel Dual Polarization Half-power Beam Width Adjust. Electrical Downtilt, Rosenheim.
- Anonim, 2010c.** Türkiye Elektromanyetik Alan Maruziyet Raporu, Bilgi Teknolojileri ve İletişimi Kurumu, Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Anonim, 2011.** Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi: 21.04.2011, Resmi Gazete Sayısı: 27912
- Anonim, 2012.** ITU-R, (2012) Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz, Geneva.
- Anonim, 2014.** Temkoder, Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığına Etkileri Çalıştay Sonuç Raporu, Ankara, ISBN: 978-605-86215-1-0.
- Anonim, 2018a.** By EM\_Spectrum\_Properties\_edit.svg: Inductiveload, NASA derivative work: Homonihilis (talk)-EM\_Spectrum\_Properties\_edit.svg,CC BY-SA3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6330849> (ziyaret tarihi 10.2018)
- Anonim, 2018b.** Elektriksel Alan, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektriksel\\_alan](https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektriksel_alan) (ziyaret tarihi 10.2018)
- Anonim, 2018c.** Elektromanyetik Tayf, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik\\_tayf](https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_tayf) (ziyaret tarihi 10.2018)
- Anonim, 2018d.** Elektromanyetik Spektrum. ByLouisE.Keiner[http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum), <https://tr.wikipedia.org/w/index.php?curid=572089> (ziyaret tarihi 10.2018)

- Anonim, 2018e.** How speed radar works: Waves. [http://ffden2.phys.uaf.edu/webproj/212\\_spring\\_2014/Amanda\\_Mcpherson/Amanda\\_McPherson/2nd\\_page.html](http://ffden2.phys.uaf.edu/webproj/212_spring_2014/Amanda_Mcpherson/Amanda_McPherson/2nd_page.html) (Ziyaret Tarihi 11.2018)
- Anonim, 2018f.** Elektrik Alan Çizgileri. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektriksel\\_alan#/media/File:Electric\\_Field\\_Lines.svg](https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektriksel_alan#/media/File:Electric_Field_Lines.svg) (ziyaret tarihi 10.2018)
- Anonim, 2018g.** Sağ el kuralı. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Right\\_hand\\_rule.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Right_hand_rule.png) (ziyaret tarihi 10.2018)
- Balci, K. 2017.** Edirne Merkez İlçede Bulunan İlkokullarda Elektromanyetik Kirlilik, *Uzmanlık Tezi*, Trakya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Edirne.
- Bansal, R. 2004.** “Handbook of Engineering Electromagnetics” Marcel Dekker, ISBN:0-8247-5628-2.
- Barclay, L. 2013.** Propagation of Radiowaves, 3rd Edition, The Institution of Engineering and Technology, London, ISBN: 978-1-84919-578-2, 500pp.
- Bayrakçı, E. 2001.** Elektromagnetik Dalga Teorisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, ISBN: 975-511-001-1, 413pp.
- Bayram, O. 2017.** Elektromanyetik ışınım ve İnsan Sağlığına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Bechet, P., Michalus, S. 2006.** Estimated and Measured Values Of The Radiofrequency Radiation Power Density Around Cellular Base Stations, *Rom. Journ. Phys.*, Vol. 52, Nos. 3–4, P. 429–440, Bucharest.
- Blaasaas, K.G., Tynes, T, Lie, R.T. 2003.** Residence near power lines and the risk of birth defects. *Epidemiology*, 14(1): 95-8.
- Canseven, A.G., Seyhan, N., Mirshahidi, S., Imir, T., 2006.** Suppression of natural killer cell activity on *Candida stellatoidea* by a 50 Hz magnetic field. *Electromagn Biol Med* 25 (2): 79 - 85.
- Cansız, M. 2010.** Diyarbakır İl Merkezinin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması Ve Durum Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Chakraborty, C., Singh, A. 2013.** Determination of Safe Distance Limit from Cellular Base Station Radiation Exposure using SAR Analysis. 2nd International conference on Computing Communication and Sensor Network, 22-24 November 2013, West Bengal, India.
- Changqi, Z., Dongsheng, W., Lanlan, P., Wenli, L. 2015.** The Effects of Head Parameters on the Specific Absorption Rate in the Human Head. 2015, 8th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI 2015), 14-16 October 2015, Shenyang, China.
- Cheng, D.K. 1989.** Field and Wave Electromagnetics, Addison-Wesley, ISBN:978-0201128192.
- Cheng, D.K. 2012.** Mühendislik Elektromanyetiğinin Temelleri(Türkçe Çeviri), Palme Yayıncılık ISBN: 975-8982-99-0 Orj: Fundamentals of Engineering Electromagnetics, Prentice Hall, ISBN: 0-201-56611-7.
- Cowan, D., Gidlestone, R. 1995.** Safe as Houses, Gateway Books, Bath, UK. Environmental Protection Agency (EPA), (1990). Evaluation of the potential carcinogenicity of electromagnetic fields, Washington DC, USA.



- Çerezci, O., Kartal, Z., Pala, K., Türkkın, A. 2012.** Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri, Nilüfer Belediyesi, Bursa, ISBN: 978-605-62172-6-5.
- Çerezci, O., Şeker, S. 2010.** Bursa Nilüfer İlçesinde Elektromanyetik Kirliliğin Belirlenmesi ve Alt Seviyelere Çekilmesi için Örnek Bir Model Oluşturulması, ELECO, 2-5 Aralık 2010, Bursa, Türkiye.
- Demers, P.A., Thomas, D.B., Rosenblatt, K.A. 1991.** Occupational Exposure to Electromagnetic Fields and Breast Cancer in Men. *American Journal of Epidemiology*, 134 (4): 340-347.
- Dilek, B. 2014.** Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesinin Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Rize.
- Dode, A.C. 2011.** Mortality by neoplasia and cellular telephone base stations in the Belo Horizonte municipality, Minas Gerais state, Brazil. *Science of the Total Environment*, 409(19): p. 3649-3665.
- Düzgün, S. 2009.** Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Zararlı Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- Eger, H. 2004.** Einfluss der räumlichen Nähe von Mobil funksende anlagen auf die Krebsinzidenz, *Umwelt-Medizin-Gesellschaft*, 17(4): p. 326-335.
- Elhasoğlu, D. 2006.** Elektromanyetik kirliliğin zararlı etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- Eyüboğlu, E. 2010.** TV/Radyo Vericilerinden Kaynaklanan Elektrik Alan Şiddeti Ölçmeleri ve Sonuçların Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Fırlar, A., Tepeçam, S., Özden, S., Canseven, K.A., Seyhan N. 2007.** YGH ELF-MF Ölçüm Sonuçları: Uluslararası Yaklaşımlar, Türkiye'deki Durum ve GNRK'nın Önerileri, 19. Ulusal Biyofizik Kongresi Konferans ve Bildiri Özetleri Kitabı, 10.
- Fisbahe, P., Gasiorowicz, S., Thornton, T.S. 2007.** Temel Fizik Cilt 2 (Çeviri: Prof Dr. Cengiz Yalçın), Arkadaş Yayınevi, Ankara, ISBN: 978-975-509-369-7.
- Ghasemi, A., Abedi, A., Ghasemi, F. 2013.** Propagation Engineering in Radio Links Design, Springer Science + Business Media, New York, 567pp.
- Giancoli, C.D. 2008.** Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Fourth Edition, Prentice Hall, USA, ISBN:978-0-13-149508-1, 1328pp.
- Gobba, et al. 2009.** Natural killer Cell Activity Decreases in Workers Occupationally Exposed to Extremely Low Frequency Magnetic Fields Exceeding 1 MicroT, *In J Immunopathol Pharmacol*, 2009 Oct-Dec, 22(4):1059-66.
- Güçlü, G.G. 2011.** 50 Hz Elektromanyetik Alanlar ve Biyolojik Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. 1994.** Elektromanyetik Radyasyon, T.C Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, ISBN: 975-7572-33-0.
- Ida, N. 2015.** Engineering Electromagnetics, Third Edition, Springer International Publishing Switzerland, ISBN 978-3-319-07805-2, 1046pp.
- İlhan, M. 2008.** Bir Tıp Fakültesi Hastanesinde Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması ve Sağlık Çalışanlarında Sağlık Etkilerinin Belirlenmesi, *İş Sağlığı Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Ankara.



- Jeunink, S.P.P. 2017.** Electromagnetic Sources in the Hospital Environment: Risks Analysis and Measures for Electro-Magnetic Compatibility (EMC), *M.Sc. Thesis*, University of Twente, Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, Twente, Netherlands.
- Keysan, A. 2015.** Balıkesir İli Şehir Merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nin Elektromanyetik Alan Haritası, *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Kliukiene, J., Tynes, T., Andersen, A. 2004.** Residential and occupational exposures to 50-Hz magnetic fields and breast cancer in women: a population-based study, *American Journal of Epidemiology*, 1;159(9):852-61.
- Li, C., Mezei, G., Sung, F.C., Silva, M., Chen, P.C., Lee, P.C., Chen, L.M. 2007.** Survey of residential extremely-low-frequency magnetic field exposure among children in Taiwan, *Environment International*, 33:233-238.
- Li, D.K., Odouli, Ft., Wi, S., Janevic, T, Golditch, I., Bracken, T.D., Senior, F.T., Rankin, F.T., İriye, F.T. 2002.** A Population-Based Prospective Cohort Study of Personal Exposure to Magnetic Fields during Pregnancy and the Risk of Miscarriage, *Epidemiology*, 13(1): 9-20.
- Nagy, L. 2007.** Deterministic indoor wave propagation modeling, *Department of Broadband Infocommunications and Electromagnetic Theory*, Vol. LXII, Budapest.
- Narda, 2010a.** Basic Insights Safety in electric, magnetic and electromagnetic fields, Germany, 21 s.
- Narda, 2010b.** SRM 3006 Kullanım Klavuzu, Narda Safety Test Solutions GmbH Sandwiesenstraße 72793 Pfullingen, Almanya.
- Özgümüş, B. 2010.** Zonguldak Kent Merkezinin 100 kHz – 3 GHz Frekans Bandında Elektromanyetik Kirliliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Pala, K., Türkkan, A., Sinmaz,V. 2007.** Bursa İlinin Nilüfer İlçesinde Elektromanyetik Kirlilik, XI. Ulusal Halk Sağlığı Kongresi, 23-26 Ekim 2007, Denizli.
- Paniagua, J.M., Jiménez, A., Rufo, M., Gutiérrez, J.A., Gómez, FJ., Antolín, A. 2007.** Exposure to extremely low frequency magnetic fields in an urban area, *Radiat Environ Biophys*, 46:69-76.
- Polat, A.Ö. 2013.** Karaman İli Şehir Merkezi Ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesi'nin Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Polat, B. 2017.** Sinop İl Merkezinin Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Sinop Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Çevre Sağlığı Anabilim Dalı, Sinop.
- Preece A.W., Georgiou A.G., Dunn E.J., Farrow S.C. 2007.** Health response of two communities to military antennae in Cyprus, *Occup Environ Med*, 64:402-408.
- Rappaport, T.S. 2010.** Wireless Communications: Principles And Practice, Pearson Education, USA, 736pp.
- Rothwell, J.E., Cloud, J.M. 2018.** Electromagnetics, Third Edition, CRC Press, USA, ISBN: 978-1-4987-9656-9, 979pp.
- Sahu, N.K., Naidu, C.D., Sankar, J. 2014.** Study of RF Propagation Losses in Homogeneous Brick and Concrete Walls using Analytical Frequency Dependent

Models, *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, Volume 9, Issue 5, Ver. II,58-66.

**Santini, R. 2002.** Enquête sur la santé de riverains de stations relais de téléphonie mobile : I/Incidences de la distance et du sexe, *Pathol Biol*, 50: p. 369-73.

**Sarıkahya, M.N. 2014.** Yaygın Olarak Kullanılan Elektromanyetik Alan Kaynaklarının Elektromanyetik Kirlilik Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

**Semerci, M. 2011.** Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklı Elektromanyetik Alan Şiddeti Ölçüm Yöntemleri: Samsun İl Merkezi Saha Çalışması, *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.

**Sevgi, L. 2005.** Çevremizdeki Elektrik ve Manyetik Alanlar, Endüstriyel Otomasyon Dergisi.

**Seybold, J.S. 2005.** Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 352pp.

**Soe, W.T. ve Aye, M.,A. 2015.** Indoor Radio Wave Propagation With Ray Tracing Technique, *International Journal of Advances in Electronics and Computer Science*, June 2(6): 7-11.

**Sorgucu, U. 2011.** Erciyes Üniversitesi Kampüsü'nde GSM900 ve GSM1800 Şebekelerinin Oluşturduğu Elektromanyetik Kirliliğin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

**Şeker, S., Çerezci, O., 1997.** Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

**Türkkan, A. 2009.** Çocukluk Çağı Lösemileri ve Elektromanyetik Alan, *Güncel Pediatri Dergisi*, 2009(7): 137-41.

**Uluaby, T.F., Ravaoli, U. 2015.** Fundamentals of Applied Electromagnetics, Pearson Education, New Jersey, ISBN: 978-0-13-335681-6, 530pp.

**Vaizoğlu, S.A, Göçgeldi, E, Tekbaş, Ö.F., Güler, Ç. 2007.** Bir Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde yüksek gerilim hatlarına bağlı düşük frekanslı elektromanyetik kirlilik düzeylerinin incelenmesi, XI. Ulusal Halk Sağlığı Kongresi, 23-26 Ekim 2007, Denizli.

**Van Wijngaarden, E., Savitz, D.A., Kleckner, R.C., Cai, J., Loomis, D. 2000.** Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility workers: a nested case-control study, *Occup Environ Med*, 57(4):258-63.

**Verkasalo, P.K., Kaprio, J., Varjonen, J., Romanov, K, Heikkila, K, Koskenvuo, M. 1997.** Magnetic fields of transmission lines and depression, *Am J Epidemiol*, Dec 15; 146(12):1037-45.

**WHO, 2007.** Electromagnetic fields and public health, exposure to extremely low frequency electromagnetic fields, Fact Sheet No:322, WHO, Geneva, Switzerland.

**WHO, 2008.** Extremely Low Frequency Fields, Environmental Health Criteria No:238, WHO, Geneva, Switzerland.

**William, H.H.Jr., John, A.B. 2015.** Engineering Electromagnetics, Eighth Edition, McGraw-Hill, ISBN 978-0-07-338066-7, 608pp.

**Yaman, E. 2011.** Hastane Ortamında Elektromanyetik Alan Etkilerinin Ölçüm Yoluyla Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.

**Yıldız, M. 2014.** Measurement of Electromagnetic Radiation Levels of Some Cellular Base Stations in Gaziantep, *M. Sc. Thesis* In Engineering Of Physics, University Of Gaziantep Graduate School Of Natural & Applied Sciences, Gaziantep.

**Zaffanella, L. 1993.** Survey of residential magnetic field sources, Volume 1: Goals, Results and Conclusions. EPRI Report No. TR-102759. Palo Alto, CA:Electric Power Research Institute, 1-224.

**Zaffanella, L.E., Kalton, G.W. 1998.** Survey of Personal Magnetic Field Exposure Phase II: 1000- Person Survey EMFRAPID Program Engineering Project 6. Oak Ridge, TN: Lockheed Martin Energy Systems, Inc.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Berkant ÇELİK  
Doğum Yeri ve Tarihi : Gaziantep / 1992  
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Gazi Anadolu Lisesi, 2010  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2015

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

İletişim (e-posta) : berkantcelik@hotmail.com.tr

### Yayınlar :

**Celik, B., Bakcan, R. M., Bayram, B.R., Karpaz, E., Yilmaz, G. 2017.** Uludağ Üniversitesi Yerleşkesinde Elektromanyetik Kirlilik Ölçümleri, Bursa Uludağ Üniversitesi VI. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri, Poster Sunumu, 15-16 Mart 2017, Bursa, Türkiye.

**Celik, B., Bakcan, R. M., Bayram, B.R., Karpaz, E., Yilmaz, G. 2017.** 1 Hz - 400kHz Frekans Aralığında Elektromanyetik Alan Ölçümleri, Bursa Uludağ Üniversitesi VI. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri, Poster Sunumu, 15-16 Mart 2017, Bursa, Türkiye.

**Celik, B., Bakcan, R. M., Karpaz, E. 2017.** Electromagnetic Pollution Mapping In Uludag University Central Campus, *International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering*, 5(10): 83-85.

**Karpaz E., Celik, B., Bakcan, R. M., Ibrahim, M.M.A., Chabbar, T.A., Dogan, O. 2019.** Estimating base station based electrical field in line of sight of outdoor and indoor by artificial neural network and fuzzy logic, *Alternative Energy Sources, Materials & Technologies (AESMT'18)*.

