



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

**Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Yerleşkesinde Farklı Frekans  
Bantlarının Elektromanyetik Alan Kirliliğine Etkisinin Analizi**

**Mustafa Mohamedosman Abbaker IBRAHİM**

**Yüksek Lisans Tezi**



**Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Yerleşkesinde Farklı  
Frekans bantlarının Elektromanyetik Alan Kirliliğine  
Etkisinin Analizi**

**Mustafa Mohamedosman Abbaker IBRAHİM**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Yerleşkesinde Farklı Frekans  
Bantlarının Elektromanyetik Alan Kirliliğine Etkisinin Analizi**

**Mustafa Mohamedosman Abbaker IBRAHİM**

Dr. Öğr. Üyesi Esin Karpaz  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2019

## TEZ ONAYI

Mustafa Mohamedosman Abbaker IBRAHİM tarafından hazırlanan “Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Yerleşkesinde Farklı Frekans Bantlarının Elektromanyetik Alan Kirliliğine Etkisinin Analizi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile BURSA Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** 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

16.07.2019

**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 yararlanması 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.**

16.10.2019

**Mustafa Mohamedosman Abbaker IBRAHIM**



# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## **Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Yerleşkesinde Farklı Frekans Bantlarının Elektromanyetik Alan Kirliliğine Etkisinin Analizi**

**Mustafa Mohamedosman Abbaker IBRAHİM**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Günümüzde Mobil teknoloji (cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, vb.), hayatımızı kolaylaştırdığı için insan yaşamının önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu cihazların sağladığı kolaylık nedeniyle kullanımları hızla yaygınlaşmıştır. Elektromanyetik (EM) dalgalar doğal ışımanın yanında, insan yapımı olan ve hergün artan miktarlarda veri alışverişini radyo dalgaları ile sağlayan yeni teknolojilerden kaynaklı (TV, radyo, kablosuz, internet, hücreli iletişimden) olarak, yayılırlar. Bu da sınırlı bir alanda sonsuz kullanıcıya kapsama alanı sağlamak amacı ile yeni baz istasyonları kurulmasını gerektirmektedir.

Standartlara göre elektromanyetik kirlilik oranlarının belirlenebilmesi için elektrik ve manyetik alan ölçümlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Türkiye’de baz istasyonundan bir telekomünikasyon operatörü için elektrik alan limit değeri 13.5 V/m’dir. Bu çalışmada, Ancak Bursa Uludağ Üniversitesi`nin Merkez Yerleşkesi`nde baz istasyonlarında yapılan EM kirlilik ölçüm ve inceleme çalışması sonucunda; kurulu baz istasyonlarının Türkiye’nin Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) sorumluluğunda uygulanan Uluslar arası İyonlaştırmayan Radyasyondan korunma komisyonu (ICNIRP) tarafından düzenlenen sınır değerlere uygun çalışmaları tespit edilmiştir. Ölçüm sonuçları daha yakından incelendiğinde ICNIRP limitlerinden daha düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik kirlilik, elektrik alan, yapay sinir ağları.

2019, xv + 80

# ABSTRACT

MSc Thesis

Analysis of the Effect of Radiofrequency Bands on Electromagnetic Field  
Pollution in the Bursa Uludağ University Central Campus

**Mustafa Mohamedosman Abbaker IBRAHIM**

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

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

Electromagnetic waves (EM) have become a complementary part of our every day life. In these days, this influences almost every aspect of our day-to-day life. However, the electromagnetic waves are radiated from natural, man-made sources such as TV, radio, wireless, internet, cellular communication, and many other devices which are also exchanging increasing amounts of data by means of radio frequency (RF). Thus, this leads to installation of more base stations to cover new areas with new technology to work within the limited geographic area for unlimited users. That means the exposure of high levels of Electromagnetic Radiation (EMR) due to high RF power broadcasting in order to maximize the coverage of area.

The measurement of the electric field and the magnetic field is significant in order to determine electromagnetic pollution level compared to standards. In Turkey, electric field limit value, which is emitted by base station is 13.5 V/m for one mobile communication operator. In this study, the measurement and evaluation of electromagnetic pollution outside the Bursa Uludag University hospital building are performed and its compliance with national and international standards is examined. Moreover, the distribution of electric field in the environment is estimated by the artificial neural network methods considering the measurement results. However, as a result of the EM pollution measurement and examination carried out in the base stations at the Central Campus of Uludağ University in Bursa. Turkey's Information and Communication Technologies Authority of installed base stations (BTK) are implemented under the responsibility of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) have been determined that the limits regulated by appropriate work. When the measurement results were examined more closely, it was observed that the levels were lower than the ICNIRP limits.

**Key Words:** Electromagnetic pollution, Electric field, artificial neural network.

2019, xv + 80

## TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması ve çalışmanın yürütülmesi sırasında kıymetli bilgilerinden, yapıcı eleştirilerinden ve yönlendirmelerinden dolayı saygıdeğer hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Esin Karpat'a çok teşekkür ederim. Değerli babam Mohamedosman IBRAHİM'a, annem Faiza ABDULAHAKAM'a, Jafer ABDULHAKAM'a, aileme, Sudan'daki ve Türkiye'deki arkadaşlarıma, özellikle Muhammed Rafet BAKCAN'a, Berkant ÇELİK'e tüm eğitim hayatım boyunca bana maddi ve manevi desteklerini asla esirgemedikleri için sonsuza kadar teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim bana destek olan YTB'e teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Mohamedosman Abbaker IBRAHİM

16 /07/2019



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1 Kaynak Araştırması.....	4
2.2 Elektromanyetik Kavramlar.....	6
2.2.1 Elektrik Alan .....	7
2.2.2 Manyetik Alan.....	8
2.2.3 Güç yoğunluğu.....	9
2.2.4 Maxwell denklemleri .....	10
2.2.5 Elektromanyetik Dalgalar .....	11
2.2.6 Elektromanyetik Dalga Denklemi.....	12
2.3 Elektromanyetik Kaynaklar.....	13
2.3.1 Doğal Elektromanyetik Alanlar .....	13
2.3.2 Yapay Elektromanyetik Alanlar.....	13
2.4. Elektromanyetik Spektrum .....	14
2.4.1 İyonize ve İyonize Olmayan Elektromanyetik Dalgalar.....	16
2.4.2. İyonize EM Dalgalar .....	17
2.4.3. İyonize Olmayan EM Dalgalar .....	17
2.5 Anten ve Anten Parametreleri.....	19
2.5.1 Anten Yöneltiliği.....	19
2.5.2 Anten Kazancı.....	20
2.5.3 Anten ışıma diyagramı .....	20
2.5.4 Etkin izotropik yayılım gücü ( EIRP ) .....	20
2.5.5 Etkin yayılım gücü (ERP) .....	21
2.5.6 Yakın ve uzak alan.....	21
2.6. GSM sistemindeki RF kaynakları.....	23
2.7. Mobil İletişim Teknolojileri veya Hücreli (Mobil) Ağlar .....	29
2.8. EM alanların canlılar üzerindeki etkileri.....	32
2.9. Özgül Soğurulma Oranı (SAR) Değeri.....	34
2.10. Yapay Sinir Ağı Modeli.....	35
2.11. Standartlar ve Sınırlamalar.....	37
3. MATERYAL YÖNTEM.....	43
3.1. Elektrik Alan Ölçümünde Kullanılan Cihaz.....	43
3.2. Çalışma Alanı ve Ölçüm Metodu.....	44
3.2.1. Çalışma Alanı Tanıtılması.....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	47
4.1. Ölçümler Sonucunda Elde Edilen Veriler.....	47
4.2. Ölçüm ve Yapay Sinir Ağı Sonuçları.....	52
4.3. Haritalama .....	56
5. SONUÇ .....	57
EKLER.....	60

EK 1	İkinci gün (13.11.2017) Salı Sabah .....	60
EK 2	İkinci gün (13.11.2017) Salı öğlen .....	60
EK 3	İkinci gün (13.11.2017) Salı Akşam .....	60
EK 4	Üçüncü gün (14.11.2017) Çarşamba Sabah .....	60
EK 5	Üçüncü gün (14.11.2017) Çarşamba öğlen .....	60
EK 6	Üçüncü gün (14.11.2017) Çarşamba akşam.....	60
EK 7	Dördüncü gün (15.11.2017) Perşembe sabah.....	60
EK 8	Dördüncü gün (15.11.2017) Perşembe öğlen .....	60
EK 9	Dördüncü gün (15.11.2017) Perşembe akşam.....	60
EK 10	Beşinci gün (22.11.2017) Cuma sabah.....	60
EK 11	Beşinci gün (22.11.2017) Cuma öğlen .....	60
EK 12	Beşinci gün (22.11.2017) Cuma akşam.....	60
EK 13a.	Ölçümlerde kullanılan SRM3006 cihazından alınan veri dosyaları .....	60
EK 13b.	Ölçümlerde kullanılan SRM3006 cihazından alınan ve YSA için .....	60
EK 14	MATLAB R2018b programı YSA ana sayfası.....	60
EK 15	YSA veri seçme sayfası .....	60
EK 16	YSA ağ eğitim sayfası .....	60
EK 17	Ağ değerlendirme sayfası .....	60
EK 18	Sonuç kayıt sayfası .....	60
KAYNAKLAR.....		77
ÖZGEÇMİŞ .....		80

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$E$	Elektrik alan şiddeti (V/m)
$H$	Manyetik alan şiddeti (A/m)
$B$	Manyetik akı yoğunluğu (Wb/m <sup>2</sup> )
$S$	Güç yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )
$\lambda$	Dalga boyu
$f$	Frekans
$\sigma$	İletkenlik EB/ $\mu$ (S/m)
$\rho$	Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> ]

### Kısaltma

### Açıklama

AM	Genlik Modülasyonu
GSM	Küresel Mobil Sistem
CEPT	Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Konferansı
EM	Elektromanyetik
TV	Televizyon
RF	Radyo frekans
WLAN	Kablosuz Yerel Alan Ağları
MMS	Multimedya Mesajlaşma Servisi
SMS	Short message service
EMF	Elektromanyetik alan
UMTS	Evensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
WIFI	Kablosuz yerel alan ağı
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
ICNIRP	Uluslararası İyonlaşmayan Radyasyon Koruması Komisyonu
SAR	Özgül Soğurma Oranı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
SRM	Seçici Radyasyon Ölçer
EMR	Elektromanyetik radyasyon
ITU	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
VLF	Çok Düşük Frekans
LF	Düşük Frekans
ME	Orta frekans
VHE	Çok Yüksek Frekans
UHF	Ultra Yüksek Frekans
EHF	Son derece yüksek frekans
IR	Kızılötesi Radyasyon
GPRS	Genel Paket Radyo Servisi
LTE	Uzun Süreli Evrim
TX	Transmisyon
RX	Alıcı
FDMA	Frekans bölmeli Çoklu Erişim
TDMA	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
CDMA	Kod Bölmeli Çoklu Erişim

EDGE	Global Evrim için Gelişmiş Veri Hızları
HSPDA	Yüksek Hızlı Paket İndirme Erişimi
IP	İnternet protokolü
MIMO	Çoklu Giriş Çoklu Çıkış
IEEE	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
FCC	Federal Komünikasyon Komisyonu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
ILO	Dünya Çalışma Örgütü
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
EU	Avrupa Birliği
ANN	Yapay Sinir Ağı



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sağ el kuralı ile manyetik alan yönünün bulunması .....	9
Şekil 2.2. Elektrik ve manyetik alan yayılımı .....	12
Şekil 2.3. Elektromanyetik Spektrum .....	16
Şekil 2.4. Uplink – Downlink .....	24
Şekil 2.5. Hücre tipleri .....	25
Şekil 2.6. Çatılardaki Baz istasyonu .....	27
Şekil 2.7. Bina cephesi .....	27
Şekil 2.8. Baz istasyon kulesi.....	28
Şekil 2.9. Üç yüz yönlü anten .....	29
Şekil 2.10. Tipik Baz istasyonu tesisleri ve EM enerji yayılımı .....	29
Şekil 2.11. YSA modelinin şematik diyagramı.....	37
Şekil 3.1. EM alan ölçümlerinde kullanılan Narda SRM 3006 cihazı.....	43
Şekil 3.2. Bursa Uludağ Üniversitesi'nde hizmet veren GSM baz istasyonları.....	45
Şekil 3.3. Kampüs içerisindeki ölçüm noktaları .....	46
Şekil 4.1. Giriş parametreleri, zaman, enlem, boylam, GSM, LTE ve UMTS frekans değerlerine karşılık yapay sinir ağı modeli.....	48
Şekil 4.2. YSA ile elde edilen GSM E Alan Değerlerinin ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması .....	52
Şekil 4.3. Ölçülen GSM frekansı elektrik alan değerlerinin YSA ile regresyon sonuçları .....	53
Şekil 4.4. YSA ile elde edilen UMTS E Alan Değerlerinin ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması .....	53
Şekil 4.5. Ölçülen UMTS frekansı elektrik alan değerlerinin YSA ile regresyon sonuçları .....	54
Şekil 4.6. YSA ile elde edilen LTE E Alan Değerlerinin ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması .....	54
Şekil 4.7. Ölçülen LTE frekansı elektrik alan değerlerinin YSA ile regresyon sonuçları .....	55
Şekil 4.8. Bursa Uludağ Üniversitesi iki boyutlu elektrik alan haritası .....	56
Şekil 4.9. Bursa Uludağ Üniversitesi üç boyutlu elektrik alan haritası .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Elektromanyetizmanın Temel Yasaları ve Maxwell denklemleri .....	10
Çizelge 2.2. Radyo hizmetleri tablosu .....	14
Çizelge 2.3. GSM frekans bantları veya Dünya çapında mobil radyo sistemi .....	30
Çizelge 2.4. Uplink downlink frekans aralığı. ....	31
Çizelge 2.5. Bölgeye göre sıralanmış, yüksek kaliteli cihazlar tarafından aynı anda desteklenen tipik LTE frekans bantları .....	31
Çizelge 2.6. Mobil iletişim frekanslarında genel halk için ICNIRP ve IEEE tarafından belirlenen maruz kalma sınırları.....	38
Çizelge 2.7. Avrupa Birliği (EU) ülkelerinin ve diğer bazı endüstriyel ülkelerin yaşadığı bölgelerde genel halk için maruz kalma sınırları .....	39
Çizelge 2.8. 2014 yılında Türkiye Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından belirlenen genel halka maruz kalma limitleri.....	40
Çizelge 2.9. ICNIRP tarafından mesleki maruziyet için belirlenen elektromanyetik limit değerleri.....	41
Çizelge 2.10. ICNIRP tarafından halk sağlığı elektromanyetik maruziyet sınır değerleri .....	41
Çizelge 4.1. Birinci Gün Pazartesi sabah.....	49
Çizelge 4.2. Birinci Gün Pazartesi öğlen .....	50
Çizelge 4.3. Birinci Gün Pazartesi Akşam.....	51
Çizelge 4.4. GSM E-alan korelasyon katsayısı çizelge uzat diğer frekanslara göre.....	55

## 1. Giriş

On dokuzuncu yüzyılın başında Hans Christian Ørsted ve Faraday gibi fizikçilerin deneyleri, elektrik ve manyetik olayların birbiriyle ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu teori elektromanyetik teori olarak bilinmektedir.

1885 yılında fizikçi James Clark Maxwell, elektromanyetik dalgaların yayılmasını bilirlere üzerine önemli çalışmalar yapmıştır. Hızını matematiksel olarak belirleyerek ışık hızına eşit olduğunu bulmuş ve herhangi bir bağlantı olmadan hava veya vakum içinde hareket edebileceğini ispatlamıştır. 1887'de Alman bilim adamı Henry Hertz elektromanyetik dalgaları keşfetmiştir. Daha sonraki zamanlarda frekans ölçüm birimi kendi adıyla (Hertz) olarak adlandırılmıştır. 1888'de Hertz, radyo dalgaları olarak adlandırılan elektromanyetik dalgaları üretmesiyle birlikte radyo tarihi başlamıştır. Dünyanın dört bir yanından gelen bilim adamları radyo dalgalarıyla deneyler yapmışlardır. Alexander Popov'un bir atmosferik elektrik araştırmasında bilgi edinmek için 7 Mayıs 1895'te Rus St. Petersburg Fizikçi Cemiyeti önünde bir konferansta, 600 metrelik bir mesafeye gönderip almayı başardığı söylenmektedir. 1900 yılın'da Marconi ve Ambrose Fleming'in çalışmalarının sentezi neticesinde radyo istasyonları arasındaki girişimi önlemek için birçok frekansta iletim yapmanın mümkün olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca 1906 yılında Reginald Fessenden bir AM vericisi icat etmiştir. Alexanderson bir döner buji verici kullanılarak icat edilen yüksek frekanslı osiloskop ile Mors sistemin halkın itiraz mesajını ona yakın gemilerden göndermeyi başarmıştır. (Barclay 2008).

Günümüzde Mobil teknoloji (cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, vb.), hayatımızı kolaylaştırdığı için insan yaşamının önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu cihazların sağladığı kolaylık nedeniyle kullanımları hızla yaygınlaşmıştır. Etrafımızdaki elektrikli cihazlar ve haberleşme baz istasyonları olumlu ve olumsuz etkilere sahiptir. Bu cihazlar bir elektromanyetik kirlilik kaynağı haline gelmişlerdir.

Global Mobil Sistem veya kısaca GSM bir mobil iletişim sistemidir, 1982'de CEPT (Conference of European Post and Telecommunication) Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi'nin Groupe Spéciale Mobile (Türkçe: Mobil İletişim Özel Grubu)

isimli alt kuruluşunun ismini taşıyan GSM, daha sonraları sistemin küresel bir çapa ulaşmasıyla yeni adıyla anılmaya başlanmıştır. GSM, dünya genelinde ilk olarak Finlandiya’da kullanılmaya başlanmıştır (Rappaport 2011).

Günümüzde, bazı ülkelerde nüfusun yarısından fazlası cep telefonu kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan mobil iletişim standardı olarak, 212 ülkede 2 milyardan fazla insan tarafından kullanılmaktadır. 2000 yılı başında dünyada 750 milyon olan cep telefonu abonesi sayısı 2004 yılında 1,5 milyara yükselmıştır. Türkiye’de benzer şekilde; 2000 yılında 14 milyon 970 bin olan cep telefonu abone sayısı 2004 yılında 30 milyon 843 bine ulaşmıştır. 2009 yılı için ise Türkiye’deki mobil abone sayısının Telekomünikasyon Kurumu verilerine göre 65 milyon civarında olduğu belirtilmektedir. 2018’de cep telefonu kullanıcılarının sayısı yaklaşık 5.135 milyardı. Bu dönemde mobil abone sayısı ise 77,8 milyon olmuştur (BTK 2017).

Bu nedenle elektromanyetik (EM) dalgalar doğal ışığın yanında ve insan yapımı teknolojilerden kaynaklı (TV, radyo, kablosuz, internet, hücreli iletişimden) olarak, yayılır. Geçtiğimiz 15 yıl içinde, cep telefonu kullanımı yaygın olmayan bir etkinlikten dünya genelinde 4,6 milyardan fazla aboneliğe sahip bir kampanyaya dönüştü. Bu teknolojinin gelişi, telefonlar tarafından yayılan radyo frekans (RF), WLAN (Kablosuz Yerel Alan Ağları), bluetooth, MMS, SMS, Video Call gibi hayatı kolaylaştıran ve evimizde ve içinde günlük ihtiyaçlarımız için kullandığımız birçok elektrikli aletin bulunduğu her ortamda var olan EMA’nin (Elektromanyetik Alan) etkilerini artırmaktadır (BTK 2017).

Her gün binlerce kişinin giriş çıkış yaptığı Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi insan sirkülasyonu yüksek olan Bursa için önemli noktalardan birisidir. Bu durumda elektromanyetik kirliliğin tespiti önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında yerleşke içerisindeki etkiyi ölçmek için belirlenen noktalarda 27 MHz - 3GHz frekans bandında (GSM, UMTS, WIFI, TV ve Radyo frekansları) ortaya çıkan elektrik alan değerleri statik olarak ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçları ulusal (Bilgi Teknolojileri Kurumu-BTK) ve uluslararası (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection-ICNIRP) standartlarının belirlediği sınır değerler çerçevesinde



değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda yerleşkenin maksimum ve ortalama elektrik alan değerlerine göre sayısal haritası çıkarılmıştır. Yapay Sinir Ağı ve MATLAB ile farklı frekans bantlarının etkisinin analizi incelenmiştir (The MathWorks 2005).

İkinci bölümde, kaynak araştırması kısmında ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırmak suretiyle yapılan araştırmalar, deneylerin yapıldığı ve evlerin yakınında buldukları takdirde iletişim kulelerinin neden olduğu hasarlar üzerine elde edilen sonuçlar ve özellikle mobil kullanıcılar için bu cihazlardan yayılan elektromanyetik radyasyondan kaçınmaları için bazı yararlı öneriler verilmektedir. Bazı araştırmacılar özellikle çocuklar veya gençler gibi belirli nüfus kesimlerine odaklanmışlardır. Ayrıca, bu bölümde, elektrik alan, manyetik alan, elektromanyetik alan, elektromanyetik ışıma, iyonlaştırıcı ışıma, iyonize olmayan ışıma, uzak ve yakın alanların özellikleri, elektromanyetik spektrum, GSM sisteminde RF kaynakları, yapay sinir ağı hakkında bazı temel kavramlar ve özgül soğurma oranı (SAR) hakkında açıklamalar yer almaktadır.

Üçüncü bölümde, kampüsün içerisindeki etkiyi ölçmek için belirlenen noktalarda 27 MHz - 3GHz frekans bandında (GSM, UMTS, WIFI, TV ve Radyo frekansları) etki eden elektrik alan değerleri statik olarak ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçları ulusal (Bilgi Teknolojileri Kurumu - BTK) ve uluslararası (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP) standartların belirlediği sınır değerler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda kampüsün site koordinatları (enlem, boylam), saat, maksimum ve ortalama elektrik alan değerlerine göre statik olarak gerçekleştirilen ölçüm sonuçları yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, aldığımız toplam ortalama elektromanyetik kirlilik değerleri yapay sinir ağlarından yararlanarak oluşturulan modeller ile elde edilen tahmin sonuçları ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçların kısa bir değerlendirmesi, her ülkenin ITU'yu referans alarak belirlediği sınırlar ile yapılmıştır. Dünya Sağlık Örgütü tarafından kabul edilen Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon Koruması Komisyonu (ICINRP) yönergelerine göre farklı saatlerde maruz kalma varsayımıyla sınırlar tavsiye edilmektedir. (ICNIRP 1998; WHO (World Health Organization) 2006).

## 2. Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması

### 2.1 Kaynak Araştırması

Elektromanyetik kirlilik konusu hala dünya çapında artan tartışmalara neden olmaktadır ancak çalışmalar bu tür kirliliğin risklerinin abartıldığını göstermiştir. Ancak, Türkiye ve dünyanın birçok ülkesinde yapılan son araştırma ve çalışmalar, elektromanyetik açıdan kirlenmiş bir dünyada yaşadığımızı kesin olarak doğrulamaktadır. Bu kirlilik hücresel ve kablosuz baz istasyonlarından kaynaklandığından, baz istasyonlarının etkisini inceleyen birçok uluslararası çalışma bulunmaktadır. Dünyadaki büyük ölçekli çalışmalar, baz istasyonların yakınında yaşayan ve çalışan insanların sağlığını etkileyebileceği sonucuna varmışlardır ( Çerezci 2012; Anonim 2016).

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüsü'nde incelenen elektromanyetik kirlilik farklı gün, saat ve farklı noktalardan elektromanyetik kirlilik ölçümleri 400 MHz - 6 GHz bant aralığında spektrum analiz cihazı (SRM 3006 Narda Safety Test Solutions, Germany) ve üç eksenli bir anten ile birlikte yapılmıştır (Narda 2015). Ölçüm sonuçları, ICNIRP ve Bilgi Teknolojileri Kurumu tarafından ilan edilen standart değerler ile karşılaştırılmıştır. Elektromanyetik kirlilik oranı tehlikeli bir düzeyde bulunmamıştır (Dilek 2014).

Bilimsel bir kaynak oluşturmak amacıyla Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nin 100 KHz – 3 GHz frekans aralığındaki ölçümleri Drive Test yöntemi ile gerçekleştirilerek elektromanyetik alan haritaları oluşturulmuştur. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından onaylı cihazlar kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçları ve ulusal ve uluslararası EMR maruziyet limit değerleri ile karşılaştırıldığında, Balıkesir ilinde elektromanyetik alan değerlerinin sınır değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir (Keysan 2015).

İspanyada (R. Fernández-García I. Gil) tarafından yapılan çalışmada, orta büyüklükte bir Avrupa kentinde geniş bantlı radyofrekans elektromanyetik alanlara maruz kalma seviyesi 1998'den itibaren ICNIRP kılavuzlarına göre değerlendirilmiştir (García ve ark. 2017).

Elektromanyetik (EM) seviyenin bir hafta boyunca gözlemlendiği çalışmada ölçümler, haftanın tüm günleri için 4 sn örnekleme ile 24 saat boyunca rastgele seçilen bir dairede gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, belirlenen sınırların üzerinde herhangi bir değerin bir hafta boyunca meydana gelip gelmediğini ve aynı zamanda anlık ölçümün ilgili alandaki genel radyasyon seviyesini nasıl temsil ettiğini de belirleyebiliriz. Ölçüm 100 kHz–3 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, EM seviyelerinin belirtilen sınır değerlerin oldukça altında olduğunu göstermiştir. Pazartesi ve Cumartesi günlerinde ölçülen değerler incelendiğinde bu günlerde istatistiksel olarak fark olmadığı görülmektedir. Ancak, Pazartesi ve Cumartesi günleri hariç haftanın diğer günlerinde ölçülen değerlerin istatistiksel olarak oldukça farklı olduğu gözlenmektedir (Seyfi 2013).

Irak'ta yapılan çalışmanın odak noktası, elektromanyetik dalgaların insan üzerindeki etkisini azaltmanın yollarını değerlendirmek ve alternatif teknikler sunmaktır. (Ameen 2014).

Samsun Öndokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Tıp Fakültesi Hastanesi'nde EMR uzun süreli yapılan ölçümlerde tüm ortam için 4.20 V/m'lik EMC değeri elde edilmiştir. Bu değer limit değerler ile karşılaştırılması sonucunda, Kurupelit Kampüsü'nde ve hastanesinde önemli bir elektromanyetik kirlilik olmadığını belirlenmiştir. Ayrıca ölçüm sonuçları, elektrik alan değerlerinin zamana göre değiştiğini ve kullanıcı sayısındaki bir artışın elektrik alan seviyelerinde önemli bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Ölçümlerde EM kirliliğinin ana nedeni UMTS 2100 olarak belirlenmiştir. Ortamdaki toplam E değerini %99,7 doğrulukla karakterize etmek için yeni bir ampirik model önerilmiştir. Toplam E'den bant seçici E değerlerini tahmin etmek için; yeni modeller önerilmiştir (Kurnaz 2016).

Nablus kenti çevresinde yapılan çalışmada, bazı hücre baz istasyonlarından elektromanyetik ışımanın ölçümü farklı konumlarda gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, baz istasyonuna yakın yaşayanlar ve sürekli elektromanyetik ışımaya maruz kalanlar için ortamın bu açıdan güvenli olup olmadığını gösteren bir çalışma olmuştur. İlk ana istasyondan 20 metre uzaklıkta elektrik alan şiddeti 0,7 V/m olarak ölçülmüştür. Bu değer ICNIRP limitinin % 0.000288'si ve FCC limitinin % 0.002166'sıdır. Ancak elektrik alan

yoğunluğunun maksimum değeri, baz istasyonundan 10 metre mesafede 3.49 V/m olarak ölçülmüştür. Bu değer, ICNIRP limitinin % 0.00718'i ve FCC limitinin % 0.00538'i ifade etmektedir. Bu sonuçlar, elektrik alan için ölçülen ve hesaplanan değerlerin, manyetik alanın ve şehir çevresindeki güç yoğunluğunun uluslararası standartlara kıyasla küçük olduğunu göstermektedir (Mousa 2011)

2014 yılında Rize'de yapılan çalışmada 155 ölçüm alınmıştır. Bu çalışmada dört temel konu ele alınmıştır: Rize şehir merkezindeki verici noktalarının belirlenmesi, mesafeye ve anten tiplerine bağlı olarak bu kulelerden gelen ışımanın ölçülmesi, verici çıkış gücü seviyelerinin belirlenmesi ve bölgenin elektromanyetik kirlilik haritalarının oluşturulmasıdır. Ölçüm sonuçları, GSM şebekelerinin neden olduğu elektromanyetik ışımanın ulusal maruziyet sınırlarının altında olduğunu göstermiştir. En yüksek elektrik alan değeri 900, 1800 ve 2100 MHz'den çoklu GSM vericilerinin katkısı ile 14,9 V/m olarak ölçülmüştür. Ancak, en büyük katkı beklendiği gibi 3G frekansından olduğu görülmüştür. Türk makamlarına göre, ölçülen ışıma seviyesi çevre büyüklüğünün toplamının %25'i yani güvenlik sınırları dâhilindedir (Tuysuz, B., Mahmutoglu 2017).

Ordu Ünye'de yapılan çalışmada dört gün boyunca elektromanyetik ışıma (EMR) ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerin iki günü Dördüncü Nesil (4G) sisteminin uygulanmasından önce, geri kalan iki günü ise 4G kullanılmaya başlandıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Kısa süreli ölçümler 47 farklı noktada toplanırken, 24 saatlik ölçüm seçilen bir konum için kaydedilmiştir. Toplam 189 ölçüm sonucuna göre, maksimum elektrik alan şiddeti (E) 4,52 V/m'dir. Ölçülen E seviyeleri Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyon Koruması Komisyonu (ICNIRP) ve Bilgi ve İletişim Teknolojileri Kurumu (BTK) tarafından belirlenen limitlerin altında olsa da, bu değerler bazı ülkelerin alt sınırları için yüksek kabul edilebilmektedir (Kurnaz, Ç., Bozkurt 2016).

## **2.2 Elektromanyetik Kavramlar**

Kablosuz iletim, E ve H alanlarını veya elektromanyetik dalgaları yaymak suretiyle gerçekleşir. Radyo, mikrodalga, milimetre dalgaları, kızılötesi, görünür ışık, ultraviyole ve X ışınları içeren elektromanyetik dalgalar, enerjiyi yaymanın ve böylece bir vakum

aracılığıyla iletişim kurmanın tek pratik yoludur. E (elektrik) ve H (manyetik) alanlar, her noktada hem büyüklük hem de doğrultuya sahip olan vektör kuvvet alanlarıdır. Statik (zamanla değişmeyen) olabilirler, fakat elektromanyetik dalga yayılımını olabilmesi için zaman içinde değişmek zorundadırlar ve iletişim için kullanıldığında bu varyasyon genellikle sinüzoidaldir ya da sinüzoidal bileşenlerin bir toplamı ile yaklaşık olarak ifade edilebilirler.

### 2.2.1 Elektrik Alan

E alanı belirlenen bir noktada, elektrik alana maruz kalan pozitif birim yüke etki eden kuvvet olarak tanımlanabilir (White 2004).

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1.1)$$

$\vec{F}$  : Kuvvet [N]

$q$  : Yük [C].

$\vec{E}$  : Elektrik alan [N /C; V/m]

Elektrostatik olarak, iki yük arasındaki kuvvet Coulomb yasası ile ifade edilir. Coulomb yasası,  $q_1$ 'in başka bir nokta yükü  $q_2$  üzerine uyguladığı kuvvetin,  $q_1q_2$  ile doğru orantılı olduğunu ve aralarındaki mesafe  $r$ 'nin karesiyle ters orantılı olduğunu belirtmektedir (White 2004).

$$\vec{F} = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon r^2} \vec{a}_r \quad (1.2)$$

Aslında bu bağıntı aşağıdaki gibi de ifade edilebilir

$$\vec{F} = K \frac{q_1q_2}{r^2} \vec{a}_r \quad (1.3)$$

Burdaki “K” Coulomb sabitidir

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9875 \times 10^9 \frac{N_m}{C^2} \quad (1.4)$$

$q_1$  ve  $q_2$  yüklü parçacıkları, “ $K$ ” Coulomb sabitini ve  $r$  yükler arasındaki mesafeyi ifade eder (White 2004)

Ancak elektrik akı yoğunluğu ( $\vec{D}$ ), elektrik alan şiddeti ( $\vec{E}$ ) ve malzemenin dielektrik geçirgenliğine ( $\epsilon$ ) bağlıdır. Bu ilişki aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir (White 2004).

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

### 2.2.2 Manyetik Alan

Manyetik akı yoğunluğu  $\vec{B}$ , Lorentz kuvvet yasasında hareket eden birim yük üzerine etkiyen kuvvet olarak tanımlanır. Manyetik alan kaynakları temelde kuzey ve güney manyetik kutuplara sahip olan dipollardır. Manyetik alan için SI birimi (Newton x saniye) / (kulomb/meter<sup>2</sup>)’dir. Manyetik akı yoğunluğu Gauss (G) veya Tesla (T) birimleri ile ifade edilir. Daha küçük bir manyetik alan birimi için Gauss’tur. (1 Tesla = 10.000 Gauss) = 1T = 10<sup>4</sup> G’dir. Manyetik alan şiddetinin birimi ise A/m’dir. Yani 1 $\mu$ T = 10 mG = 1 $\mu$ T = 0,8 A/m’dir. Manyetik akı yoğunluğu  $\vec{B}$ , iletken içinden akan akım tarafından üretilen manyetik alanı tanımlamak için manyetik alanın ( $\vec{H}$ ) şiddetinden daha fazla kullanılır (Griffiths 1999).

Manyetik akı yoğunluğu ile manyetik alan arasındaki bağıntı

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (1.6)$$

olarak verilmektedir. Burada  $\mu$  manyetik geçirgenlik katsayısıdır. Birçok biyolojik maddede manyetik geçirgenlik katsayısı havanın manyetik geçirgenlik katsayısı  $\mu_0$ ’a eşittir.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (H/m) \quad (1.7)$$

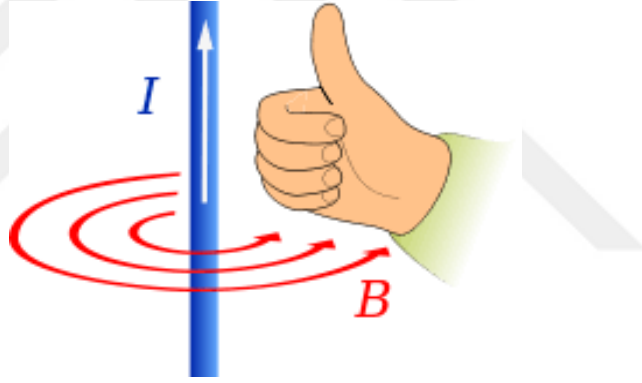
herhangi bir malzemeye ait manyetik geçirgenlik değeri;

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (1.8)$$

Aslında manyetik alan  $B$ , Lorentz Force Law'den ve özellikle hareketli bir yük üzerindeki manyetik kuvvetten tanımlanır:

$$\vec{B} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (1.9)$$

$\vec{B}$  Manyetik akı yoğunluğu içinde,  $\vec{v}$  hızı ile hareket eden  $q$  birim yüklü parçacığa bir manyetik kuvvet etki etmektedir. Ampere Yasası, kapalı bir yol boyunca manyetik alan şiddetinin integralinin bu yolun sınırladığı bölgedeki akımı verdiğini söyler. Sağ el kuralı, manyetik alan vektörünün yönünü bulmak için şekil 2.1'de gösterildiği gibi kullanılmaktadır. Sağ el başparmağı, akım yönünde tutulup diğer parmaklar tel etrafına dolanarak manyetik alan vektörünün yönü bulunur.



Şekil 2.1. Sağ el kuralı ile manyetik alan yönünün bulunması (Polat 2013)

### 2.2.3 Güç yoğunluğu

Güç yoğunluğu, dalga yayılma yönüne dik olan yüzeyin birim alanından geçen elektromanyetik dalganın gücü olarak tanımlanır. Birim ( $W/m^2$ ) olarak olup, elektrik ve manyetik alanları içeren ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$S = \vec{E} \times \vec{B} = \frac{E^2}{377} \quad (1.10)$$

## 2.2.4 Maxwell denklemleri

1860 yılında, İskoç fizikçi ve matematikçi James Clerk Maxwell (1831-1879), elektrik ve manyetik alanlarla ilgili tüm yasaları ve birbirleriyle etkileşimlerini sadece dört diferansiyel denklemlerle formüle etmiştir.

**Çizelge 2.1.** Elektromanyetizmanın Temel Yasaları ve Maxwell denklemleri (Sengupta, D., V. Liepa 2006)

	Maxwell Denklemleri'nin difrensiyal formu	Maxwell Denklemleri'nin İntegral Formu
1. Gauss Yasası	$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\iint_s \vec{D} \cdot d\vec{s} = \iiint_v \rho_v dv$
2. Faraday Yasası	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\int_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\iint_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s}$
3. Gauss Yasası	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\iint_s \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$
4. Ampere Yasası	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left[ \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right]$	$\int_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_s \left[ \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right] \cdot d\vec{s}$

Burada yer alan değişkenler:

$\vec{E}$ : elektrik alanı (volt/metre),  $\vec{H}$ : manyetik alan (amper/metre),  $\vec{B}$ : manyetik akı yoğunluğu (tesla; T),  $\vec{D}$ : elektrik deplasman (kulomb/meter<sup>2</sup>),  $\vec{j}$  elektrik akımı yoğunluğu (ampere / meter<sup>2</sup>),  $\rho$ : elektrik yoğunluğu (kulomb/meter<sup>3</sup>) olarak tanımlanır.  $\rho$  elektrik skaler yük yoğunluğunun haricinde, bu alanların tümü vektördürler. Yani  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{D}$  ve  $\vec{j}$ , sadece bir büyüklük değil, aynı zamanda uzayda ve zamanda her noktada bir yönünü de belirlemektedir (Dalglish ve ark. 2007).

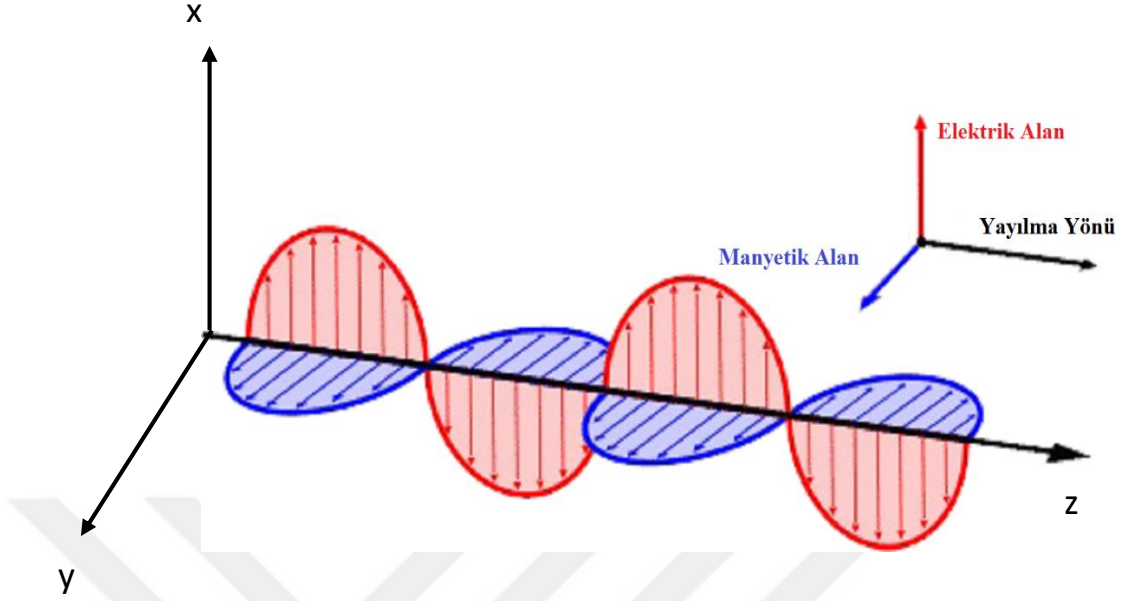


Denklem 1.'de yer alan Gauss'un yasası, herhangi bir kapalı yüzeyden akan elektrik akısının toplam yükün  $\epsilon_0'e$  oranına eşit olduğunu belirtir. Denklem 2.'de Faraday'ın induksiyon kanunu, elektromanyetik induksiyon olarak adlandırılan bir elektromotor kuvvet (EMF) üretmek için bir manyetik alanın bir elektrik devresiyle nasıl etkileşime gireceğini tahmin eden bir elektromanyetizma yasasıdır. Transformatörlerin, endüktörlerin ve birçok türde elektrik motorunun, jeneratörü ve solenoidin temel çalışma prensibidir. Denklem 3. Gauss yasasına göre kapalı bir yüzeyden geçen net manyetik akının sıfır olduğunu gösterir. Bunun sebebi manyetik alan çizgilerinin belli bir başlangıç ve bitiş noktasına sahip olmayıp kapalı çevrimler oluşturması ve ayrıık manyetik yüklerin varolmamasıdır. Denklem 4. Amper yasası, bir manyetik alanın kapalı bir yol üzerindeki lineer integralinin, bu kapalı yol ile sınırlanan açık yüzeyden geçen toplam akımın manyetik geçirgenlik katsayısı ile çarpımına eşit olduğunu belirtmektedir (Balanis 1989).

### **2.2.5 Elektromanyetik Dalgalar**

1860 yılında, Maxwell elektromanyetizma ve manyetizma ile ilgili tüm yasaları formüle edebilmiş ve birbirleriyle dört diferansiyel denklemde ifade edebilmiştir. Bu denklemlerin varlığı 1887'de Alman fizikçi (Heinrich Hertz) tarafından doğrulanmış ve elektromanyetik dalgaların varlığını gösteren deneysel çalışmalar yapmıştır.

Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik dalgaları fiziksel olarak sınıflandırarak ifade etmektedir. Örneğin görünür ışık, mikrodalga, X-ışınları, gama ışınları, TV ve radyo dalgaları elektromanyetik radyasyon olarak bilinmektedir. Ancak hepsi ayrı özelliklere sahiptir. Dalganın boyu frekansa bağlıdır. Yani dalganın boyu ne kadar yüksek (küçük) olursa frekans o kadar düşüktür. Elektromanyetik alanlar, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi birbirine dik olan bir elektrik alan ve bir manyetik alandan oluşur. Bu alanlar genellikle miktar ve yön açısından tanımlanmaktadır. Elektromanyetik dalgalar, insanların hücreleri, hayvanların ve bitkilerin biyolojik sistemleri ile doğrudan etkileşime giren salınımlı elektrik ve manyetik alanlardan oluşur.



Şekil 2.2. Elektrik ve manyetik alan propagasyon (Anonim 2016a)

Elektromanyetik dalgalar manyetik ve elektrik alanın birbirine dönüşmesi ile ilerlediği düzünebilir. Yukarıdaki şekilde değişen elektrik alan ve değişen manyetik alanı temsil edilmektedir. Elektromanyetik dalga “z” yönünde ilerlerken, “x” doğrultusunda değişen elektrik alan, “y” doğrultusunda değişen manyetik alan meydana getirir, bu değişen manyetik alan ise tekrar elektrik alan meydana getirir ve bu böylece sürüp gider. Ayrıca elektromanyetik alanlar saniyede 300 bin kilometre hızla ilerleyen dalgalardır.

### 2.2.6 Elektromanyetik Dalga Denklemi

Maxwell denklemlerinin diferansiyel formlarından türetilen dalga denklemi, boşlukta taşıdığı enerjiyi ileten elektromanyetik dalgaların yayılmalarını tanımlamaktır. Elektromanyetik dalgaların ortam içinden veya vakum ortamında yayılmasını tanımlayan ikinci mertebeden kısmı diferansiyel denklemdir. Homojen dalga denklemi çizelge 2.1’de belirtilen Maxwell denklemlerinden yararlanılarak elektrik alan ya da manyetik alan için elde edilebilmektedir.

Maxwell denklemlerinden Faraday yasasını Ampere yasası ile birleştirerek elektrik alana (1.11) ve manyetik alana (1.12) ait skaler Helmholtz dalga denklemleri elde edilmektedir.

$$(\nabla^2 - \frac{\mu\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}) = 0 \quad (1.11)$$

$$(\nabla^2 - \frac{\mu\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2}) = 0 \quad (1.12)$$

Burada

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = 2.998 \times 10^8 \quad (1.13)$$

Serbest uzayda elektromanyetik dalga yayılımının hızını yani ışık hızını ifade etmektedir.

## 2.3 Elektromanyetik Kaynaklar

### 2.3.1 Doğal Elektromanyetik Alanlar

Doğal EMR güneşten foton formunda gelmektedir. Bunlar son derece geniş enerji dağılımına sahiptir. Gelen fotonların elektromanyetik spektrum içerisinde bir tarafta yüksek enerjili X-ışını fotonları, diğer tarafta ultra uzun radyo dalgaları, UV, görünür ve kızılötesi fotonlardan oluşmaktadır. Her foton, bir elektromanyetik EM dalgası olarak kabul edilebilir. Işık hızı ile yayılır ve yayılma yönüne dik olan elektrik ve manyetik alan vektörleri ile karakterize edilir. Bu iki alan vektörü birbirine diktir. EM dalgalar, genellikle iki değişken, frekans ve dalga boyu ile karakterize edilirler. Fotonlar için dalgaboyunun ve frekansın ürünü ışığın hızına eşittir ve foton enerjisi frekansı ile orantılıdır. Dolayısıyla, fotonların güneş enerjisinden son derece geniş dağılımı, frekansların ve dalga boylarının oldukça geniş dağılımlarını ifade etmektedir.

### 2.3.2 Yapay Elektromanyetik Alanlar

Endüstriyel elektromanyetik dalgalar, insanların bazı kullanımlar için yapay olarak oluşturdukları dalgalardır. Bu tür elektromanyetik dalga, en yaygın olarak kullanılan ve en kullanışlı olanıdır. Endüstriyel bir şekilde üretilen elektromanyetik dalga türlerinden: Endüstriyel üretilen ışık, dalgalar radyo sinyalleri, televizyon ve uydular, endüstriyel X-

ışın, çeşitli kablosuz iletişim (mobil ağlar, kablosuz, Bluetooth, Wi-Fi ve kızılötesi) ve Mikrodalga dalgaları sayılabilir.

#### 2.4. Elektromanyetik Spektrum

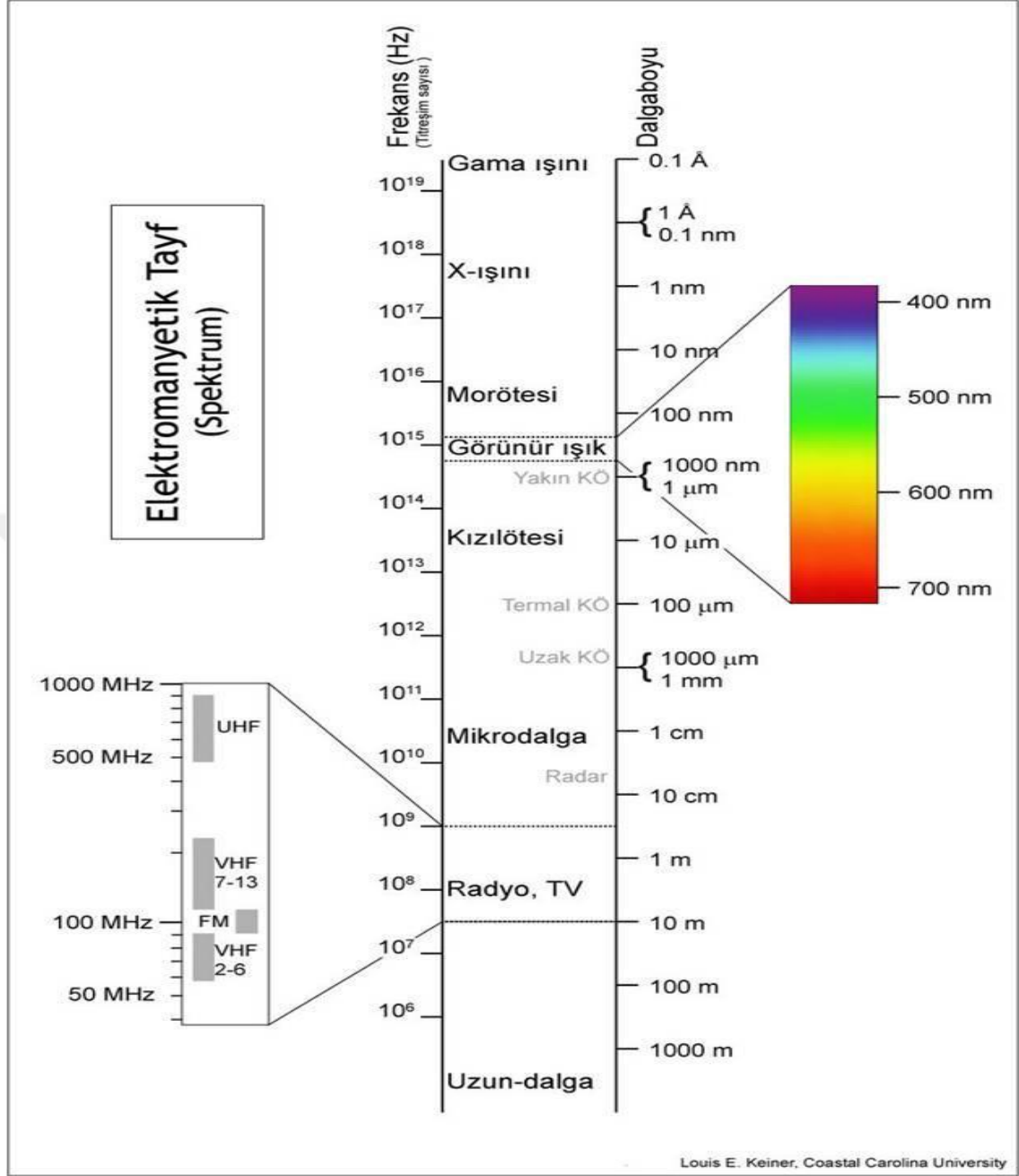
Uluslararası Telekomünikasyon Birliği'ne (ITU) ve Türkiye Ulusal Telekomünikasyon Kurumu ile işbirliğine göre elektromanyetik spektrumda 300 GHz'in altında kalan kısım RF spektrumunun ve farklı iletişimin sistemleri için mevcut frekansları belirlemek için frekanslar tahsis edilmektedir. Ayrıca bu da farklı sistemler arasında coğrafi mesafe ve sınırlı yayın kapasitesi kullanarak ve farklı modülasyon, kodlama ve polarizasyon metotları kullanılarak herhangi bir girişim olmaması koşuluyla aynı frekansın yeniden kullanılmasına izin vermektedir. Bu kısmında, ITU referans alınarak düzenlenen radyo frekansları Çizelge 2.2'de özetlenmiştir.

**Çizelge 2.2.** Radyo hizmetleri tablosu (ITU-R Recommendation 2012)

<b>Band</b>	<b>Frekans</b>	<b>Dalga Boyu</b>	<b>Kullanıldığı alan</b>
VLF	3-30 kHz	100 -10 km	Navigasyon, sonar
LF	30 – 300 kHz	10 – 1 km	Radyo ile yön bulma, seyir ve navigasyonel Yardım
MF	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m	AM yayını, deniz radyosu, yön bulma
VHF	30 – 300 MHz	10 – 1 m	TV, FM yayını, hava trafik kontrolü, polis, taksi mobil haberleşme
UHF	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm	TV, uydu haberleşmesi
SHF	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	Uçak radarı, mikrodalga linkleri, mobil haberleşme, uydu haberleşmesi
EHF	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm	Radar, deneysel amaçlar

Elektromanyetik spektrumun gelişmesi, Maxwell, Hertz ve Marconi'nin çalışmalarının birleşmesiyle başlamıştır. VLF (Çok Düşük Frekans - Very Low Frequency)'den başlayıp, LF (Düşük Frekans - Low Frequency), ME (Orta frekans - Medium frequency), VHF (Çok Yüksek Frekans - Very High Frequency), UHF (Ultra High Frequency - Ultra Yüksek Frekans), (Super High Frequency - Süper Yüksek Frekans), EHF (Extremely High Frequency - Son derece yüksek frekans) ve RFR (Radio Frequency Radiation - Radyo frekans Radyasyon), IR (Infrared Radiation - Kızılötesi Radyasyon), görünür ışık, UV (Ultraviolet - Ultraviyole), X-ışınları ve  $10^{24}$  Hz frekansı aşan gama ışınlarına kadar uzanır. EM spektrum Sekil 2.3'de gösterilmiştir.





Şekil 2.3. Elektromanyetik Spektrum (Bükeyhan 2017)

### 2.4.1 İyonize ve İyonize Olmayan Elektromanyetik Dalgalar

Işıma, bir araya giren ortam veya boşluk yoluyla iletilen ve başka bir vücut tarafından emilen bir vücuttan veya kaynaktan yayılan enerjidir. Işıma iyonlaşan maddeye bağlı olarak sınıflandırılır. Böylece elektromanyetik dalgalar frekanslarına ve enerjilerine göre

iyonize ve iyonize olmayan ışımaya olamk üzere iki ana gruba ayrılır. (Roslan Umar ve arkad. 2018).

#### **2.4.2. İyonize EM Dalgalar**

İyonize ışımaya, yeterli miktarda enerjiyle birlikte bir atomla etkileşimde bulunularda oluşan ışımadır. Bir atomun yörüngesinde sıkıca bağlı elektronları kopartılabilir, böylelikle atomun yüklenmesine ve iyonize olmasına neden olunabilir. Moleküler seviyede madde halinde iyon üretmek için yeterli enerjiye sahiptir. İyonize ışımaya dokularımızda bulunan atom ve moleküllerde elektron kopararak değişiklik yapabilen, yüksek frekanslı ve dolayısıyla yüksek enerjili olan X ışınları ve gama ışınlarıdır. Bu yüksek frekanslar ve yüksek enerji sağlama iyonlaştırmak için yeterlidir. (Yani, atomların veya negatif ve pozitif yüklerle yüklü moleküllerin parçalarını oluşturmaktadır), bu hücre moleküllerini birbirine bağlayan atomik bağları kırarak oluşur. Kısaca iyonize ışımaya kararsız atom ile üretilir (Mansur ,2014).

İyonize ışımaya, yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar (gama ve x-ışınları) veya gerçek parçacıklar (alfa, beta, nötronlar) olarak radyoaktif atomik yapılardan yayılır.

1. Gama Işınları
2. X-Işınları
3. Alfa Parçacıkları
4. Beta Parçacıkları
5. Nötronlar

#### **2.4.3. İyonize Olmayan EM Dalgalar**

İyonize olmayan ışımaya, elektronları bir atomdan veya bir molekülden çıkarmak için yeterli enerjiye sahip olmayan elektromanyetik bir ışımadır. İyonlaşma olmayan spektrum iki ana bölgeye ayrılmıştır, bunlar optik ışımaya bölgeyi normal ışımaya bölgesidir. Elektromanyetik alanlar mikrodalga, çok yüksek frekans ve düşük frekanslı radyo dalgası olarak üçe ayrılmaktadır. İkinci olarak, optik ışınlar ultraviyole, görünür ve kızılötesi frekansları olarak alt frekans sınıflarını oluşturur.

Genellikle iyonize olmayan ışıma, ultraviyole (UV), görünür ışık, kızılötesi (IR), mikrodalga (MW), Radyo frekansı (RF) ve aşırı düşük frekans (ELF) spektrumundan oluşur. İyonize olmayan ışıma 0 Hz ile 1015 THz aralığındadır.

İyonize ışıma ise 1016 THz'den yüksek frekansları kapsamaktadır. Dolayısıyla, iyonize olmayan ışıma daha uzun dalga boyuna (düşük frekansa) sahip düşük enerjidir. İyonize ışıma kısa dalga boylu (yüksek frekanslı) yüksek enerjidir. Elektromanyetik alanların dalga boyları ve frekansları arasındaki ilişki denklem 1.14'de gösterilmiştir. Denklemde görüldüğü üzere frekans ne kadar artaran dalga boyu daha küçülmektedir (Polat 2013).

$$\lambda = \frac{c}{f} (m) \quad (1.14)$$

Belirli bir dalgaboyundaki elektromanyetik enerjinin bu dalga boyu ile nispi bir frekansı ve foton enerjisi bulunmaktadır. Bu bağıntı 1.15'de denklem ile gösterilmektedir (Özgümüş 2010).

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.15)$$

Burada  $h$ , yaklaşık  $6.62607 \times 10^{-34}$  değeri olan planck sabitidir ve  $c$  değeri 299792458 m/s olan ışık hızını göstermektedir.

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi iyonize olmayan ışıma;

1. ELF (son derece düşük frekans)
2. Radyo Frekansları
3. Mikrodalga Frekansları
4. Lazerler
5. Kızılötesi
6. Görünür Spektrum
7. Ultraviyole

Olarak sıralanmaktadır. Bu liste en düşükten en yüksek frekansa kadardır (Bükeyhan 2017).



## 2.5 Anten ve Anten Parametreleri

Elektromanyetikte, bir antenin güç kazancı ya da sadece kazanç, antenin yönünü ve elektrik verimliliğini birleştiren önemli bir performans değeridir. Bir verici antende, kazanç, antenin giriş gücünü belirli bir yönde ilerleyen radyo dalgalarına ne kadar iyi dönüştürdüğünü açıklar. Bir alıcı antende, kazanç, antenin belirli bir yönden gelen radyo dalgalarını elektrik gücüne ne kadar iyi dönüştürdüğünü açıklar. Herhangi bir yön belirtilmediğinde, "kazanım" kazancın tepe değerine, antenin ana lobunun yönündeki kazancına atıfta bulunduğu anlaşılır. Işıma paterninin çizimi kazanımın bir fonksiyonu olarak adlandırılır (Barclay 2008).

Antenlerin mobil haberleşme ve elektromanyetik ışıma açısından önemli parametreleri şunlardır:

- Anten Yöneltiliği, Kazancı ve Işıma Diyagramı
- Etkin İzotropik Yayılım Gücü (EIRP)
- Etkin Yayılım Gücü (ERP)
- Anten Faktörü
- Uzak Alan ve Yakın Alan

### 2.5.1 Anten Yöneltiliği

Elektromanyetikte, yönlülük, yayılan ışımaya tek bir yönde yoğunlaştığını ölçen anten veya optik sisteminin bir parametresidir. Antenin, yaydığı güç yoğunluğunu en güçlü emisyonu yönünden biridir, aynı toplam gücü yayan ideal bir izotropik antenin yaydığı güç yoğunluğuna karşı (tüm yönlerde eşit olarak yayılan) ölçer. Bir antenin yönlendirmesi, kazancının bir bileşenidir; diğer bileşen ise (elektriksel) verimliliğidir. Direktifte önemli bir parametredir, çünkü birçok anten ve optik sistem elektromanyetik dalgaları tek bir yönde veya dar bir açıda yayacak şekilde tasarlanmıştır. Alıcı anten için de yönlülük tanımı yapılır ve antenin alıcı iken yöneltiliği iletilirken yöneltiliğine eşittir (Winch 1992).

### 2.5.2 Anten Kazancı

Elektromanyetikte, bir antenin güç kazancı ya da sadece kazanç, antenin yönünü ve elektrik verimliliğini birleştiren önemli bir performans değeridir. Bir verici antende, kazanç, antenin giriş gücünü belirli bir yönde ilerleyen radyo dalgalarına ne kadar iyi dönüştürdüğünü açıklar. Bir alıcı antende, kazanç, antenin belirli bir yönden gelen radyo dalgalarını elektrik gücüne ne kadar iyi dönüştürdüğünü açıklar. Herhangi bir yön belirtilmediğinde, "kazanım" kazancın tepe değerine, antenin ana lobunun yönündeki kazancına atıfta bulunduğu anlaşılır. Kazanımın bir fonksiyonu olarak kazanımın bir çizimi ışın diyagramı olarak adlandırılır. Kasacı Yönlü bir antenin bir noktadaki güç yoğunluğunun aynı güçle beslenen yönsüz antenin aynı noktadaki güç yoğunluğuna oranı, yönlü antenin o noktadaki kazancı olarak tanımlanır (Yıldız 1987).

### 2.5.3 Anten ışın diyagramı

Elektromanyetik dalgaların yayınlandığı antenlerin ışın diyagramı, ortama yayılan enerjinin uzaysal dağılımını belirler. Yönlü antenin ışın diyagramı, ana yayılım yönünde diğer yönlere göre kazancı ölçüsünde daha çok enerji yoğunlaştırır ve maruziyet açısından asıl etkisinin bu yönde araştırılması gerektirmektedir. Özellikle bir verici istasyonla ilgili belirli bir ölçümde, ölçüm cihazı ve antenin ana yayılım yönünde bulunup bulunmadığı bilgisi bu bakımdan önemlidir.

Ölçüm amaçlı antenlerin kalibreli olması, ölçülen belli bir sinyalin doğru değerini bulmak amacıyla çevredeki diğer sinyallerden etkilenmenin minimuma indirilebilmesi ve zayıf sinyallerde etkinliğin yüksek tutulabilmesi amacıyla, yönlülük ve kazanç özellikleri yüksek olan antenler kullanılmasına ihtiyaç vardır (Anonim 2001).

### 2.5.4 Etkin izotropik yayılım gücü ( EIRP )

Etkin izotropik ışın gücü (EIRP), ideal bir izotropik antenden tek bir yönde yayılan çıkış gücünün bir ölçütüdür. İzotropik bir anten yayılım yaptığı gücü her yöne eşit olarak dağıtır. Bu gücü tek bir yöne yönlendirdiğimizde hesaplanan güce EIRP denir. En yüksek anten kazancı değerinde, anten tarafından yayılan güç maksimum olur. EIRP'yi

hesaplarken, iletim hattındaki kayıpları ve konektörlerden kaynaklanan güç kaybını hesaba katmamız gerekir. EIRP, herhangi iki yayıcıyı tipi, boyut veya formdan bağımsız olarak karşılaştırmak için kullanılabilir. Birimi dB'i'dir. EIRP formül 1.16 kullanılarak hesaplanır (Rappaport 2011).

$$EIRP = P_t \cdot G_t \quad (1.16)$$

$P_t$ : ileten Güç

$G_t$ : verici Anten Kazanc

### 2.5.5 Etkin yayılım gücü (ERP)

Efektif yayılım gücünün (ERP) IEEE tarafından yapılan tanımı, vericiler gibi RF frekans kaynaklarının gücünün ölçülmesine yarayan bir metottur. ERP dipol antenin ana hücresinin gücünü, yarım dalga şekliyle yayılım yapacak şekilde gösterir. ERP ölçümü, antenin gücünün kazanç ile çarpılan antenin giriş gücüne eşdeğerdir. EIRP ve ERP birbirinden farklıdır, çünkü EIRP bir kuramsal izotropik antene dayanır, bunun için izotropik bir yarım dalga dipol anten bir anten kazancının 1.64 desibel ya da 2.15 desibel katıdır (Huang, Y., Boyle 2008).

$$ERIP = ERP + 2,15 \quad (1.17)$$

### 2.5.6 Yakın ve uzak alan

Yaygın olarak radyo yayıncılığı, cep telefonları ve baz istasyonları, FM radyolar, Wifi sistemleri, telsiz telefonlar, GPS vb. için kullanılırlar. Antenin boyutu, yayılan dalgaların dalga boyundan ( $\lambda$ ) daha büyüktür. Anten, orijinal RF sinyalini dar ve yoğun RF ışınlarına odaklar. Antenin odaklanma potansiyeli, belirli bir yönde yoğunlaştırılan giriş gücünün oranının bir ölçüsü olan Kazanç (Gain-G) ile ölçülür.

Bir anten tarafından üretilen RF dalgaları, RF kaynağından değişen mesafelerde farklı özelliklere sahiptir.

Üç alan, RF alanları yolunda yaygın olarak kabul edilir:

- Yakın Alan (Near field-nf)
- Orta Alan, Fresnel bölgesi olarak da bilinir.
- Uzak Alan (Far fieldff), Fraunhofer bölgesi olarak da bilinir

### **Yakın Alan**

Yakın alan, RF kaynağında bulunan ve anten boyu ile bir dalga boyuna kadar olan bir mesafeye uzanan EMF'dir.

Antenin farklı noktalarında yayılan dalgalar arasındaki faz farklarının nispeten büyük olduğu bu bölgede, E Elektrik Alanı ile Manyetik Alan H arasındaki ilişki iyi tanımlanmamıştır. Böylece yakın alan mesafesi aşağıdaki eşitlikte tanımlanmıştır.

$$\text{Yakın Alan Mesafesi} = 2D^2/\lambda \quad (1.18)$$

D= Anten boyutu;  $\lambda$  =Dalga boyu

### **Uzak alan**

Uzak alan, yakın alanın ötesinde bulunan elektromanyetik alandır. Aşağıdaki gibi tanımlanan antenden  $D_{ff}$  mesafede başlar:

$$D_{ff} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (1.19)$$

Yakın alan bölgesinde, E elektrik alan ve H manyetik alan ölçümü kullanılmaktadır. Yüksek akım, düşük voltaj kaynağı manyetik alan anlamına gelirken, yüksek gerilim düşük akım kaynağı ise elektrik alan anlamına gelmektedir.

Ortamın empedansı ohm ( $\Omega$ ) cinsinden Denklem (1.10)'deki E ve H cinsinden ifade edilir.

(1.10) Denkleminden empedans S değeri yakın alanda sabit değildir. Bu değer 377 ohm'dan daha büyük ise manyetik alan, 377 ohm'dan daha küçük ise o zamanda elektrik alan baskındır.

## Orta alan:

Yakın alandan sonra başlar ve uzak alanın başlangıcından önce biter. Bu bölgede, dalgalar arasındaki faz farklılıkları nedeniyle, RF güç yoğunluğu yakın alana benzer bir şekilde maksimum ve minimum seviyeler arasında değişmektedir. Bu nedenle, ara alandaki güç yoğunluğu' da (1.10) Denklem'de gösterilmektedir.

Ara alan  $0,5 D^2/\lambda$  ile  $2D^2/\lambda$  arasındadır, burada  $D$ , antenin en büyük doğrusal açıklık boyutu ve  $\lambda$  dalganın dalga boyudur.

## 2.6. GSM sistemindeki RF kaynakları

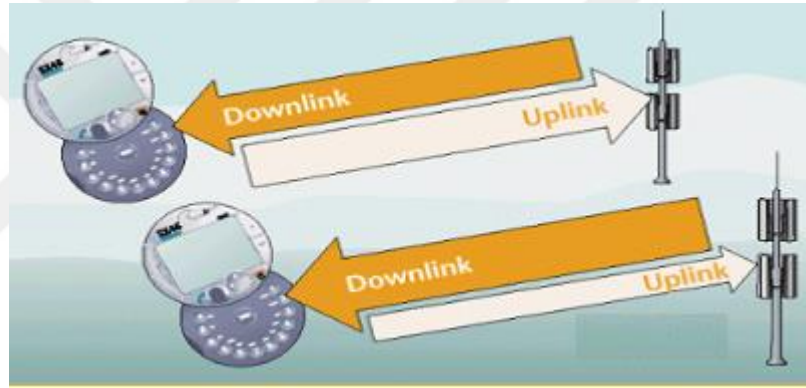
1990'ların başında, Mobil İletişim için Global Sistem olan GSM, insanların birbirleriyle iletişim kurma biçiminde benzeri görülmemiş bir değişikliği tetikledi. Daha önceki analog kablosuz sistemler sadece birkaç kişi tarafından kullanılırken, GSM bugün dünya çapında milyarlarca insan tarafından kullanılmaktadır. Bu sonuca, çoğunlukla telekomünikasyon teknolojisinin tüm alanlarındaki sürekli iyileştirmeler ve bununla birlikte, altyapı ekipmanı ve mobil cihazlar için sürekli fiyat indirimleriyle ulaşmıştır. Bu konu, GSM, Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS) ve Uzun Süreli Evrim (LTE) için de temel oluşturan bu sistemin mimarisini tartışmaktadır.

Standart ses işlevine ek olarak, mevcut cep telefonları ayrıca kısa mesaj servisi (SMS), genel paket radyo servisi (GPRS) ve multimedya servisi (MMS), fotoğraf ve video göndermek ve almak için e-posta, paket değiştirme, kablosuz erişim protokolü (WAP) ve Bluetooth gibi servisler içermektedir. Hücresel yapı, 1960'lı - 1970'li yıllarda Bell Labs tarafından geliştirilmiştir. Hücresel iletişim sistemlerinin evrimi, genellikle 1G, 2G, 3G ve 4G tanımlamaları ile bilinir. Şu anda dördüncü nesildeyiz, bu da bizi beşinci kuşağa götürmekte ve şimdi dünyadaki bazı ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Hücresel şebeke, cep telefonları arasında veya bir cep telefonu ile sabit telefon arasında radyo dalgaları kullanarak kablosuz bağlantı sağlar (Cevizli 2009).

GSM, Türkiye, Avrupa ve dünyanın diğer bölgelerinde yaygın olarak kullanılan bir dijital mobil telefon sistemidir. 900 ve 1800 MHz civarında frekans bantlarında ve, diğer bazı

frekans bantlarında çalışmaktadır. Küresel dolaşım desteğinin yanı sıra, multimedya hizmetlerinin kaliteli ve verimli bir şekilde sunulması amacıyla UMTS tanıtılmıştır. UMTS genellikle 2100 MHz frekans bandı civarında, 4G ve 4.5G genellikle 2690'da frekans bandında çalışmaktadır. Bu kapsamda istenen kullanım etkinliğinin sağlanabilmesi bakımından çok sayıda GSM Baz İstasyonu (Base Transmitting Station - BTS) ile işletilmekte ve bu ortamda özellikle'de yerleşim alanları içinde yoğun bir elektromanyetik alan oluşumuna sebep olmaktadır (Sauter 2017).

Türkiye'de üç operatör frekans bandını kullanılmaktadır. Baz istasyonundan cep telefonunuza doğru olan iletişim kanalına Downlink, cep telefonunuzdan baz istasyonuna doğru olan iletişim kanalına ise Uplink denilmektedir (Şekil 2.4).



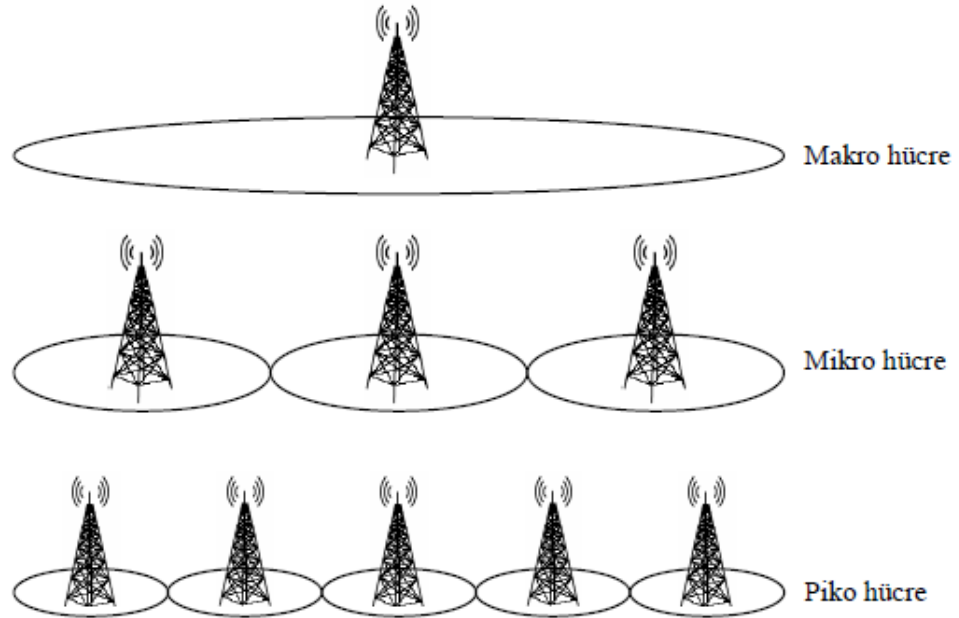
**Şekil 2.4.** Uplink – Downlink (Dilek 2014)

Baz istasyonları, her hücresel ağın altyapısındaki tüm unsurlardan en bol olanıdır. Belirli bir bölgedeki baz istasyonları sayısını belirleyen bölgedeki nüfus yoğunluğudur. Türkiye'de, büyük şehirlerde, belirli bir GSM şebekesinin işletmecisi tarafından 50'ye kadar baz istasyonu kurulması planlanmaktadır. Buldukları yere göre (şehir, yöre, kırsal veya yol) farklı baz istasyonu konfigürasyonları vardır. Şehirde ve kırsalda sık sık kullanılan üç sektörlü yonlu antenler mevcuttur. Her baz istasyonu ve operatörü için en fazla üç sektör anten yapılandırılmaları olabilir. Her biri, her sektör için maksimum çıkış gücü 22.4 W olan 2 TxRx anten veya iki vericiyle çalışan maksimum çıkış gücü 10 W olan her sektör için 1 TxRx anteni mevcuttur (Aniolczyk 1999).

Ayrıca modern hücreli telefonlarda, kırsal ve kentsel bölgeler, belirli hükümlere göre alanlara ayrılmıştır. Hücre bölünmesi ve hücre boyutları gibi dağıtım parametreleri, hücreli sistem mimarisinde deneyimli mühendisler tarafından belirlenmektedir. Şekil 2.5'de farklı alanlarda kullanılacak farklı hücre tipleri görülmektedir.

GSM hücreli sistemindeki kapsama alanına göre üç tip hücre olup, bunlar makro, mikro ve piko hücre olarak adlandırılır. Şekil 2.5'de gösterilen; makro hücreler, yerleşimin az olduğu bölgelerde tercih edilmektedir ve antenlerin tipik yükseklikleri yerden 15-50 metredir. Ancak bina, ağaç ve tepe gibi engellerin çok olduğu yerleşim yerlerinde oluşturulan makro hücrelerin yarıçapları daha küçük olur. Makro hücrelerde GSM 900 Baz istasyonu antenlerinin çıkış güçleri 40–60 W olabilir.

Mikro hücreler, genellikle yerleşimin yoğun olduğu ve makro hücreli kapsamayı geliştirici ve tamamlayıcı olarak kurulan sistemlerdir. Mikro hücreler havaalanı, büyük alışveriş merkezleri gibi yerlerde kurulur. Birkaç yüz metrelik yarıçapı olan alanları kapsar ve çıkış güçleri 5–10 W seviyesinde olup, makro hücrelere göre düşüktür. Piko hücreler ise daha çok bina içi haberleşmelerde kullanılır ve birkaç Wat çıkış gücündedir.



**Şekil 2.5.** Hücre tipleri (Genç 2010)

Makro hücreler: mikro hücrelerin bölgeye bağlı olarak çapı 16 kilometreye kadar olan bir yarıçapı kapsayabilir. Düşük hücre geçiş hızı nedeniyle, MSC (Mobile Switching Center)'nin yönetmesi gereken çok sayıda MS (Mobile station)'e rağmen merkezi devir mümkündür. Bu hücrede, yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı yaklaşık olarak aynıdır.

Mikro hücreler: orta ölçekli bir seçenek sunarlar. Kentsel ve yörekentlerde sıklıkla kullanılan mikro hücreler, 2 km'den daha küçük bir kapsama yarıçapı sunar. Sokak lambaları, trafik ışıkları, reklam panoları, köprüler, tüneller, bayrak direkleri vb. üzerine monte edilmiş olarak görülebilirler.

Piko hücreleri: Onlar mikro hücrelere göre daha küçüktür. 250 metreden daha az alanları kapsar ve genellikle ofis binaları, havaalanları ve alışveriş merkezleri gibi iç mekân uygulamaları için kullanılır. Binaların duvarları sinyal gücünü zayıflattığından, Piko hücreleri iç mekândaki zayıf cep telefonu alımıyla ilgili sorunların çözmek amacıyla özellikle yardımcı olmaktadır.

Femto hücreleri: Telsiz telefon baz istasyonu veya Wi-Fi yönlendiricinin büyüklüğü ile ilgili olarak en küçük hücrelerdir. Her bir Femto hücresi tipik olarak eşzamanlı olarak 2 ila 4 mobil telefon görüşmesini destekleyebilir (Dahlman ve ark. 2016).

Şehirlerdeki Baz istasyonun antenleri temel olarak binalarda kurulur. Yörekentlerde ısı ve enerji üreten bitkilerin bacaları tercih edilmektedir. Kırsal alanlarda ve yollarda direklerde antenler bulunmaktadır (çelik kuleler). Çevrenin korunmasına ilişkin olarak, binalara (konut binaları ve hastaneler dâhil) yapılan tesisatlar çok önemlidir. Çatılara, çatı katlarına, çatıların köşelerine ve üçgen duvarlara yerleştirilen çelik konstrüksiyon binasına monte edilmiş antenler olabilir. Baz istasyonu iletilmesi ve çalıştırılması, için iç mekân'da (BTS 'nın iç mekânı, mini iç mekânı), dış mekânda (Dış otam) veya çatılarda (ROOFTOP BTS) kullanılan anten çeşitleri Şekil'de 2.6, Şekil'de 2.7 ve 2.8'de sırasıyla gösterilmektedir. Binalarda, donatı antenlerine mümkün olduğunca yakın (en üst katlarda) ekipman için hazırlanmış özel bir oda olmalıdır (Aniolczyk 1999).





**Şekil 2.6.** Çatılardaki Baz istasyonu (Andrew Wireless Solutions 2008)



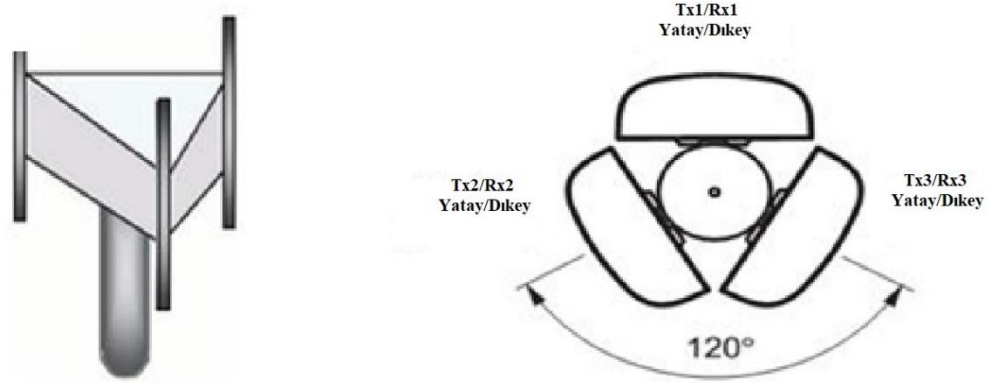
**Şekil 2.7.** Bina cephesi



**Şekil 2.8.** Baz istasyon kulesi (wikipedia 2008)

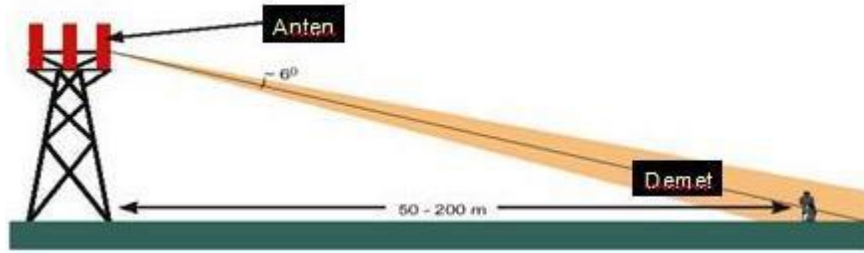
Eğer anten binalara yerleştirilirse, şekil 2.6’de gösterildiği gibi çatı seviyesinden gelen anten yüksekliği önemlidir. Uygulamada, antenler çatı seviyesinin 3 ila 6 m üzerine yerleştirilir. Şehirlerde antenler şekil 2.7’de görüldüğü gibi yer seviyesinden 30 - 40 m yükseklikte, yörekentlerde ve kırsal alanlarda şekil 2.8’de görüldüğü gibi yer seviyesinden 60 m yükseklikte bulunmaktadır. Kule konumlarında doğal zemin kotları çok sık seçilmektedir.

Her direkte, iki farklı sektörde çalışan en fazla iki TxRx anteni vardır ve yönleri 120 derecedir Şekil 2.9 ve Şekil 2.10’da sırasıyla gösterilmektedir. Aynı sektörde çalışan iki TxRx anteni, anten braketleri arasında en az 5 m mesafe gerektirir. Son zamanlarda her sektör için ayrı ayrı çatılardaki köşelere antenler yerleştirildi, böylece bunlar önemli ölçüde ayrıldı (Aniolczyk 1999).



**Şekil 2.9.** Üç yüz yönlü anten (Mansur 2014)

Baz istasyonunun istenen hedeflerine ulaşabilmesi için, antenlerin belli bir güç ile yerleşimde ve kazançta seçilmesi ve düzgün sabitlenmiş olması gerekmektedir. Antenin kazancı aynı zamanda önem taşımaktadır. Baz istasyonunun kapsama alanını veya işaret gücünü azaltabilecek hiçbir engel bulunmayacak şekilde açık bir şekilde monte edilmelidir. Aksi takdirde olası engeller baz istasyonunu, kaynakları israf eden ve komşu hücrelerle etkileşim sağlayacak hücreyi kaplamak için daha yüksek güç kullanmaya zorlar. Tipik bir antenin kapsama alanı Şekil 2.10.'de gösterilmektedir.



**Şekil 2.10.** Tipik Baz istasyonu tesisleri ve EM enerji yayılımı (Ely 2016)

## 2.7. Mobil İletişim Teknolojileri veya Hücrel (Mobil) Ağlar

Telekomünikasyon sektöründe kullanımı en çok artan hücrel iletişim sistemidir. Baz istasyonları cep telefonları için bitişik hücrel bölgeleri kapsayan birkaç vericiden oluşur. Dünyada analogdan dijital sistemlere kadar değişen ve farklı çoklu erişim türlerine

ve frekans taşıyıcılarına sahip çeşitli mobil radyo sistemleri bulunmaktadır Çizelge 2.3'de.

**Çizelge 2.3.** GSM frekans bantları veya Dünya çapında mobil radyo sistemi (Rao Gottapu 2013)

HücreSEL system	Yıl	İletim Tipi	Çoklu erişim tipi	Kanal bant genişliği	nesil
<b>Total access Communication ETACS</b>	1985	Analog	FDMA	900 MHz	1.
<b>Nordic Mobile Telephone NMT-900</b>	1986	Analog	FDMA	450/900MHz	1.
<b>Global System of Mobile GSM</b>	1990	Digital	TDMA	900/1800MHz	2.
<b>Universal Mobile Telecom System UMTS WCDMA</b>	2001	Digital	CDMA	2000MHz	2.
<b>3GPP</b>	2002	Digital	TDMA, CDMA, EDGE	2100MHz	2.5
<b>3GPP</b>	2004	Digital	CDMA2000, W-CDMA,	2100MHz	3
<b>3GPP</b>	2010	Digital	HSPDA, TD-SCDMA	2100MHz	3.5
<b>Long Term Evolution (LTE) and LTE-Advanced Pro</b>	2010-2020	Yüksek hızlı, tüm IP	LTE, WI-FI MIMO,	2690MHz	4G & 4.5G

Hücresel şebekeler, vericileri olan birkaç baz istasyonundan oluşur. Bu istasyonların her biri bir bölge olarak adlandırılır ve bu sistemi tamamlamak için çok sayıda cep telefonu bulunur. Dünyada 450 MHz ile 2100 MHz arasında değişen çok sayıda erişime ve frekansa sahip birkaç mobil radyo sistemi bulunmaktadır. Başlıca üç sistem Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya sistemleridir. Avrupa sistemi tüm dünyada kullanılmaktadır. Çizelge 2.4’de, uplink ve downlink bant genişliği frekansını göstermektedir ve mobil radyo sistemi hakkında bazı bilgileri göstermektedir. GSM sistemi, hücresel sistem arasında tüm dünyada popüler olarak kullanılmaktadır (Sauter 2011).

**Çizelge 2.4.** Uplink downlink frekans aralığı (Mousa 2011).

<b>GSM Bantı (MHz)</b>	<b>Uplink (MHz)</b>	<b>Downlink (MHz)</b>
900	890-915	935-960
1800	1710-1785	1805-1880
1900	1850-1910	1930-1990
2100	1920-1980	2110-2170

**Çizelge 2.5.** Bölgeye göre sıralanmış, yüksek kaliteli cihazlar tarafından aynı anda desteklenen tipik LTE frekans bantları (Sauter 2017)

<b>LTE Avrupa Bantı</b>	<b>Uplink (MHz)</b>	<b>Downlink (MHz)</b>	<b>Çift yönlü modu</b>
3	1805–1880	1710–1785	FDD
7	2620–2690	2500–2570	FDD

**Çizelge 2.6.** Bölgeye göre sıralanmış, yüksek kaliteli cihazlar tarafından aynı anda desteklenen tipik LTE frekans bantları (Sauter 2017) (devam)

8	925–960	880–915	FDD
20	791–821	832–862	FDD
38	2570–2620	2570–2620	TDD

## 2.8. EM alanların canlılar üzerindeki etkileri

EM alanların canlılar üzerindeki etkilerini tam olarak ortaya koyabilmek için olası diğer faktörlerin tamamen yok edildiği deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla EM alanların canlılar üzerindeki etkilerini araştıran farklı çalışmalar yer almaktadır.

İsveçte yapılan bir araştırmada 12 saatten fazla yarılan RF ölçüm sonuçlarında elde edilen 11482 veriye dayanarak ortalama  $5,494 \mu\text{W}/\text{m}^2$  güç yoğunluğu LTE 800 (4G), GSM + UMTS 900 (3G), GSM 1800 (2G), UMTS 2100 (3G) ve LTE 2600 (4G) frekanslarında elde edilmiştir. Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu, 1998'deki frekansa bağlı olarak  $10\text{W}/\text{m}^2$ 'lik sınırları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak biyolojik sonuçlar incelenmiş ve herhangi bulguya rastlanmamış olsada 5G ile bu maruziyetin artacağı tahmin edilmektedir. (Carlberg ve arkadaşları 2019).

Prenatal dönemde 900 (MHz) EMF'ye maruz kalmanın sıçan yavru kalp dokusu üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. Bu amaçla gebe sıçanlar deney ve kontrol gruplarına ayrılmışlardır. Deneysel grup sıçanları, 13-21 günlük gebeliklerinde 900 MHz EMF'ye (1 saat/gün) maruz bırakılmışlardır. EMF yoğunluğunun dağılımını belirlemek için maruz kalma kutusunun içindeki sıçanlar ile ölçümler yapılmıştır. Ölçümler gebe deney grubu sıçanların kutunun içindeki ortalama elektrik alan yoğunluğunun  $13,77 \text{ V}/\text{m}$  ( $0,50 \text{ W}/\text{m}^2$ ) olduğunu göstermiştir. Çalışmanın sonuçları doğum öncesi dönemde EMF'ye maruz

kalmanın, erkek sıçan yavru kalp dokusunda oksidatif stres ve histopatolojik değişikliklere neden olduğunu göstermektedir (Türedi ve ark. 2015).

Dört haftalık sıçanların dentat girusundaki granül hücrelerinin EMF'ye doğum öncesi maruz kalmanın etkilerinin incelendiği çalışmada, bir kontrol (Cont) grubu ve bir EMF'ye maruz kalan (EMF) grubu (her grupta üç hamile sıçan) kullanmıştır. EMF grubu, gebeliğin ilk ve son günleri arasında 60 dakika/gün boyunca 900 MHz 'ye kadar bir EMF'ye maruz kalan altı yavru (n = 6) gebe rattan, kontrol grubu ise, hiç tedavi edilmemiş beş adet hamile (n=5) gebe rattan oluşturulmuştur. Sonuçlar, doğum öncesi EMF maruziyetinin sıçanların dentat girusundaki granül hücre sayısında bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. (Odaci ve ark. 2008).

İsveçteki Lennart Hardell ve Kegel Hansson Mild tarafından yapılan çalışmada, 20-80 yaş arasında değişen beyin tümörü olan 1617 hasta üzerinde gerçekleştirilmiştir.. Mobil cihazların kullanım süresi 1-10 yıl arasında olup, araştırma sonucunda beyin tümörü insidansının % 26 oranında arttığını ve 10 yıldan fazla süredir mobil cihaz kullanan kişilerde % 77'ye çıktığını göstermiştir (Hardell ve ark. 2003).

Öte yandan, bu konuda güven verici çalışmalar da yer almaktadır:

Danimarka'da cep telefonu kullanıcılarını kapsayan bir araştırmada mobil ve beyin ve sinir sistemi kullanımı arasındaki ilişkilerin yetersizliği açıklanmıştır (Swerdlow ve ark. 2011).

Danimarka'daki cep telefonu abonelerinin bu geniş, ülke çapında kohort çalışmasında. yazarlar, beyin tümörleri, akustik nöromlar, tükürük bezi tümörleri, göz tümörleri, lösemiler veya genel kanser riskinde artış olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, hücresel telefon servisine aboneliği 10 yıldan fazla olan 56.648 kişi arasında gözlenen beyin tümörleri ve lösemiler riski de artmamıştır (Anonim 2018).

Kanada Kraliyet Topluluğu, genel olarak yapılan çalışmaların, radyolojik maruziyetten kaynaklanan olumsuz sağlık etkilerinin kesin kanıtlarını sağlamadığını ancak bu raporun daha fazla araştırılması gerektiğini bildirmiştir (Anonim 2016b).

## 2.9. Özgül Soğurulma Oranı (SAR) Değeri

Spesifik emme oranı (SAR), bir radyo frekansı (RF) elektromanyetik alanına maruz kaldığında enerjinin insan vücudu tarafından emilme hızının bir ölçüsüdür. Ayrıca, ultrason dahil, diğer enerji formlarının doku tarafından emilmesini de ifade edebilir. Maruziyetin yerel olduğu durumlarda cep telefonundan ve dolayısıyla kullanıcıya daha yakın olan, vücudun küçük bir bölümünde birim kütle başına en yüksek güç emilimi kullanılmalı ve standartlarla karşılaştırılmalıdır. Özgül Soğurma Oranı (SAR) ölçmek için kullanılan miktardır. Bu miktarda RF enerjisi ve kilogram başına watt ((W/kg) veya (mW/kg)) cinsinden ifade edilir.

SAR (Özgül Soğurma Oranı), herhangi bir biyolojik nesne tarafından absorbe edilen bir elektromanyetik radyasyon ölçümü sağlar. Özgül Soğurma Oranı ortalama bir insan vücudunun soğuracağı kg başına enerji miktarını temsil etmektedir. Elektromanyetik ışımaya, 100 KHz ile 10 GHz gibi geniş bir frekans aralığındaki SAR değerinin ölçülmesi kompleks olmasına rağmen hesaplanması basit bir şekilde aşağıdaki formülle mümkün olmaktadır.

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} (W/kg) \quad (1.20)$$

$\sigma$ : İletkenlik EB/ $\mu$  [S/m].

$\rho$ : Yoğunluk [kg/m<sup>3</sup>]

E: Elektrik alan [V/m]

Yapılan araştırmalarda ortalama ağırlıkta bir insanın vücut sıcaklığının 1° C artması için, SAR = 4 W/kg değerinde bir maruziyetin gerektiği bulunmuş ve bu ısı artışı ölçüsü üzerinden sınır değerlerin belirlenmesi yoluna girmiştir.



## 2.10. Yapay Sinir Ağı Modeli

Yapay Sinir Ağı (YSA), paralel olarak dağıtılan büyük işlemlerle biyolojik sinir ağlarının bir insan beyni gibi inşasını ve uygulanmasını simüle etmeyi amaçlayan matematiksel bir modeldir ve basit işlemlerden oluşur, bunlar sadece denilen aritmetik birimlerin ögeleridir (düğümler ve nöronlar). Kullanıcıya dengeyi sağlamak için bilimsel bilgiyi ve deneysel bilgiyi depolaması bakımından nörolojik bir özelliği vardır. Yapay bir sinir ağının (YSA) temel yapı taşı, nörondur. Bir nöron, bazı (genellikle birden fazla) girişe ve sadece bir çıkışa sahip olan bir işlem birimidir (Kriesel 2007).

Son zamanlarda, sinir ağları süreç modellemesi ve kontrolü için başarıyla uygulanmıştır. Çalışma parametrelerinin elektromanyetik alan ve elektrik alan değerleri üzerindeki etkilerini tanımlamak için deneysel gözlemlerin girdi verileri olarak kullanılmasıyla bir YSA modeli oluşturulmuştur. Üç tabakalı ileri besleme ve birinci tabakadaki 6 nöron, ara tabakadaki 20 nöron ve son tabakadaki 1 nöronlu geri yayılım algoritması seçildi.

Ağın bir giriş katmanı, bir gizli katmanı vardı ve Şekil 1'de gösterildiği gibi bir çıktı katmanı. tabakanın altı logaritmik sigmoid (logsig) nöronu, ikinci tabakanın dört logaritmik sigmoid nöronu ve son tabakanın bir lineer nöronu vardır. Levenberg-Marquardt yöntemine dayanan eğitim sürecinde, gizli katman sayısı, gizli katmandaki nöron sayısı, eğitim doğruluğu ve yineleme sayısı deneme yanılma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Giriş verileri ve çıkış verileri ağdaki gerçek uygulamadan önce ve sonra normalleştirildi ve normalleştirildi. Böylece, model sistemin girdi-çıkış davranışı için eğitildi.

İstatistiksel modelleme yöntemleri ve yapay sinir ağı modelinin geliştirilmesi şekil 2.11'de gösterilmiştir. Yapay sinir ağları kullanırken MATLAB R2018b Kullanılmıştır. MATLAB ile betiği yazılmış, verinin dosyası yüklenir, eğitimler, ağ doğrulanıp ve model mimarisini kaydedilmiş (The MathWorks 2005).

Yapay sinir ağı, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanının ve her katmanla birlikte bir düğüm oluşturur. Giriş katmanı, bir sinir ağındaki giriş değişkenlerinin sayısına göre giriş

düğümü sayısından oluşur. Gizli katman, işlemin karmaşıklığına az çok bağımlı olan düğüm ve katmanların sayısından oluşur. Çıktı katmanındaki düğüm sayısı, istenen değişkenlerimize bağlıdır. Öğrenme algoritmasına bağlı olarak istenen çıktıyı elde etmek için ağırlıklar ve yanlılığın uygun şekilde ayarlandığı ve değiştirildiği temel fonksiyonlar ve aktivasyon fonksiyonları ile hesaplanırlar. Bunları hesaplanırken bahsettiğimiz transfer ("logsig") aşağıdaki denklemi gösterildiği gibi ifade edilir.

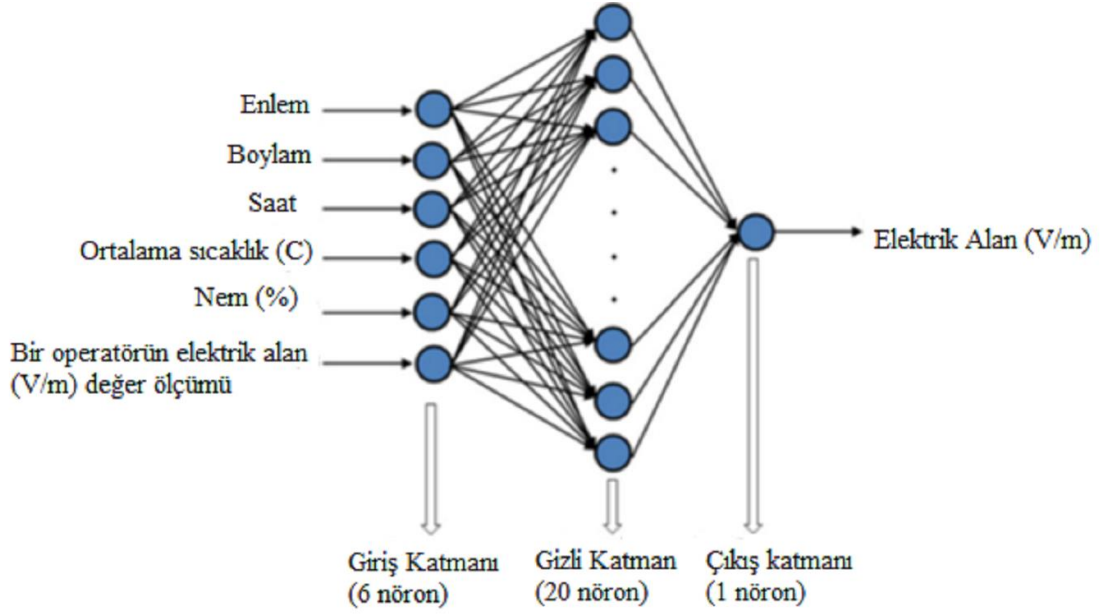
$$y_i = \frac{1}{1 + e^{-z_i}} \quad (1.21)$$

Denklem 1.21'da belirtilen  $z_i$  : nöronun gizli bir katmandaki girişidir,  $y_i$  : nöronun çıktısıdır.  $z_i$  hesaplanırken, 'Logsig' transfer fonksiyonu net giriş bir katman çıkış hesaplandı.

YSA modeli, Sabit olan parametreler ölçüm noktasının:

- (1) Enlem,
- (2) Boylam,
- (3) Saat,
- (4) Ortalama sıcaklık (C),
- (5) Nem (%),
- (6) Farklı operatorlerin belirli frekans aralığındaki elektrik alan (V/m) değer ölçümü.

Elektrik alanını tahmin etmesi için MATLAB (R2018b) yazılımı kullanılmıştır (The MathWorks 2005).



**Şekil 2.11.** YSA modelinin şematik diyagramı (Suzuki 2011)

## 2.11. Standartlar ve Sınırlamalar

Elektromanyetik ışıma çevre ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel zararlı ve uzun vadeli etkileri henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Radyo Frekansı (RF) enerjisi ve sağlığı üzerine yapılan çok sayıda araştırma çalışması, yalnızca kısa süreli maruziyetlerden kaynaklanan doku ısınması ve uyarıcı doku stimülasyonunun ortaya çıkmasıyla ilgili olabilir. Ancak, sonuçları en aza indirmek için, uluslararası kurumlar tarafından bazı sınır değerler belirlenmiştir. Uluslararası İyonize Olmayan ışımadan Korunma Komisyonu (ICNIRP) / Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü (IEEE), standardı belirleyen en yaygın kabul gören kuruluşlardır (ICNIRP 1998; IEEE 2005).

ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Çalışma Ofisi (ILO) tarafından resmi olarak tanınan bağımsız, uluslararası, bilimsel ve kar amacı gütmeyen bir organizasyondur. Görevleri, iyonize olmayan ışıma konusunda koruma rehberliği sağlamaya yönelik bilimsel bilgileri ve son bilimsel bulguları değerlendirmektir. Benzer şekilde, geniş çapta tanınan IEEE / ANSI standardı, insanları 3 kHz – 300 GHz frekans aralığında elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlara maruz kalan insanlarda oluşturulmuş olumsuz sağlık etkilerine karşı korumayı amaçlar. Bu ikisi tarafından

tanımlanan sınır değerler genel kamu kuruluşları için karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.6'de gösterilmektedir. İki standardın aynı güç yoğunluğu sınırlarına sahip olduğu görülebilir. Aslında, IEEE /ANSI, 2005 yılında izin verilen maksimum maruziyeti güncellendi. IEEE /ANSI 1991'de tanımlanan eski izin verilen maruz kalma sınırlarıyla karşılaştırıldığında, IEEE /ANSI 2006 daha katıdır (IEEE 2005; WHO 2006; ILO 2013).

**Çizelge 2.7.** Mobil iletişim frekanslarında genel halk için ICNIRP ve IEEE tarafından belirlenen maruz kalma sınırları (Tuysuz, B., Mahmutoglu 2017).

Frekans	900 MHz		1800 MHz		2700 MHz	
	ICNIRP	IEEE	ICNIRP	IEEE	ICNIRP	IEEE
Elektrik alanı (E) (V/m)	41.25	-	58.34	-	61	-
Manyetik alan (H) (A/m)	0.111	-	0.157	-	0.16	-
Güç yoğunluğu (S) ( $W/m^2$ )	4.5	4.5	9	9	10	10

GSM baz istasyonlarının kurulum standartları Avrupa'daki Avrupa Telekomünikasyon Standardizasyon Enstitüsü (ETSI) ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Federal İletişim Komisyonu (FCC) tarafından belirlenir. ETSI, ICNIRP tanımlı maruz kalma sınırlarını tanımlar ve FCC referansları olarak IEEE / ANSI standardını kabul eder. Çizelge 2.7'deki EU üye ülkelerinin çoğu ETSI ve ICNIRP önerilerini kabul ederken, Yunanistan, İsviçre, İtalya, Polonya, Rusya ve Litvanya gibi ülkeler daha güvenli sınırlar tanımlamaktadır. Özellikle, İsviçre, güç yoğunluğu referans seviyesinin % 1'ine eşdeğer olan ICNIRP referans seviyesinin % 10'unu benimsemiştir. Ayrı olarak, Danimarka, Hollanda ve Letonya gibi bazı ülkeler maruziyet seviyelerinde herhangi bir düzenleme yapmıyorlar.

**Çizelge 2.8.** Avrupa Birliği (EU) ülkelerinin ve diğer bazı endüstriyel ülkelerin yaşadığı bölgelerde genel halk için maruz kalma sınırları(Tuysuz, B., Mahmutoglu 2017)

Frekans	900 MHz		1800 MHz		2700 MHz	
	Elektrik alanı (E)(V/m)	Güç yoğunluğu (S) (W/m <sup>2</sup> )	Elektrik alanı (E)(V/m)	Güç yoğunluğu (S) (W/m <sup>2</sup> )	Elektrik alanı (E)(V/m)	Güç yoğunluğu (S) (W/m <sup>2</sup> )
Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, İrlanda, Portekiz, İsveç...	41	4.5	58	9	61	10
Danimarka, Letonya, Hollanda	-	-	-	-	-	-
Yunanistan	32	2.7	45	5.4	47	6
İsviçre	-	0.045	-	0.095	-	0.095
İtalya	6	0.1	6	0.1	6	0.1
Polonya	7	0.1	7	0.1	7	0.1
Litvanya, Rusya Federasyonu	-	0.1	-	0.1	-	0.1
ABD, Kanada	-	4.5	-	9	-	10

Türkiye'deki Standartlara göre bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK), Türkiye'deki telekomünikasyon cihazlarının maruz kalma sınırlarının düzenlenmesinden sorumlu organizasyondur. Örgüt, 2001 yılında ICNIRP rehberlerine dayanan sınırları tanımladı ve Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazetesinde (Resmi Gazete) ilan etti (Gazete 2004). Beyan edilen düzenlemeler, geliştirilmiş önlemlerle ICNIRP rehberlerine dayanmaktadır. Türkiye'de iki çeşit maruz kalma limiti vardır: Biri genellikle tek bir Baz istasyonunu ifade eden tek bir cihaz için ve ortamdaki tüm aydınlatıcıların neden olduğu elektromanyetik ışıma olan toplam ortam için bir tane. 2014 yılından itibaren yapılan ölçümlerin yapıldığı limitler, Çizelge 2.8'de verilmiştir.

**Çizelge 2.9.** 2014 yılında Türkiye Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından belirlenen genel halka maruz kalma limitleri (Tuysuz, B., Mahmutoglu 2017)

Organizasyon	900 MHz		1800 MHz		2700 MHz	
	Tek aydınlatıcı	Çevre toplam	Tek aydınlatıcı	Çevre toplamı	Tek aydınlatıcı	Çevre toplamı
Elektrik alanı (E) (V/m)	10.23	41.25	14.47	58.34	15	61
Manyetik alan (H) (A / m)	0.027	0.111	0.038	0.157	0.04	0.16
Güç yoğunluğu (S) ( $W/m^2$ )	0.28	4.5	0.56	9	0.65625	10.5

Çizelge 2.8'e göre 900 MHz'de çalışan bir GSM baz istasyonu 10.23 V/m elektrik alan sınırını aşamaz. Benzer şekilde, 1800 ve 2100 MHz için elektrik alanı sınırları sırasıyla 14.47 ve 15 V/m'dir. Ve genel halkın için 2–300 GHz frekans bandı Aralığında 61 V/m. BTK, Çizelge 2.6. ve 2.7'de gösterildiği gibi EU üye ülkelerinin birçoğuyla ilgili olan, ortamdaki toplam elektrik alanı için ICNIRP maruz kalma sınırlarını benimsemiştir. ICNIRP tarafından hazırlanan raporda elektromanyetik kirliliğin zararlı olduğu bu nedenle çizelgedeki limit değerlerin dikkat bir şekilde almaktadır. Bu kapsamda

oluşturulan limit değerler, mesleki maruziyetler için ve genel halk sağlığı için Çizelge 2.9 ve 2.10'de belirlenen limit değerler verilmiştir.

**Çizelge 2.10.** ICNIRP tarafından mesleki maruziyet için belirlenen elektromanyetik limit değerleri (Bükeyhan 2017)

Frekans Aralığı	Elektrik Alan (V/m)	Manyetik Alan (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)	Güç Yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )
1 Hz'e kadar	-	1.63*10 <sup>5</sup>	2*10 <sup>5</sup>	-
1 Hz- 8 Hz	20,000	1.63*10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>	2*10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>	-
8 Hz- 25 Hz	20,000	2*10 <sup>4</sup> /f	2.5*10 <sup>4</sup> /f	-
0.025-0.82 KHz	500/f	20/f	25/f	-
0.82-65 KHz	610	24.4	30.7	-
1-0 MHz	610/f	1.6/f	2.0/f	-
10-400 MHz	61	0.16	0.2	10
400-2000 MHz	3f <sup>1/2</sup>	0.008f <sup>1/2</sup>	0.01f <sup>1/2</sup>	f/40
2-300 GHz	137	0.36	0.45	50

**Çizelge 2.11.** ICNIRP tarafından halk sağlığı elektromanyetik maruziyet sınır değerleri

Frekans Aralığı	Elektrik Alan (V/m)	Manyetik Alan (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)	Güç Yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )
1 Hz'e kadar	-	3.2*10 <sup>4</sup>	4*10 <sup>4</sup>	-
1-8 Hz	10,000	3.2*10 <sup>4</sup> /f	4*10 <sup>4</sup> /f	-
8-25 Hz	10,000	4.000/f	5.000/f	-
0.025-0.82 KHz	250/f	4/f	5/f	-
0.8-3 KHz	250/f	5	6.25	-
3-150 MHz	87	5	6.25	-
0.15-1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	-

**Çizelge 2.10.** ICNIRP tarafından halk sağlığı elektromanyetik maruziyet sınır değerleri (devam)

1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	-
10-400 GHz	28	0.73	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375/f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10





### 3. MATERYAL YÖNTEM

#### 3.1. Elektrik Alan Ölçümünde Kullanılan Cihaz

Elektromanyetik kirliliğin belirlenmesi için çeşitli cihazlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada yaptığımız ölçümlerde şekil 3.1’de gösterilen cihaz Narda SRM 3006 kullanılmıştır.



**Şekil 3.1.** EM alan ölçümlerinde kullanılan Narda SRM 3006 cihazı (Narda 2015)

SRM-3006 (Selektif Radyasyon Metre) 9 kHz ila 6 GHz frekans aralığında yüksek frekanslı elektromanyetik alanların güvenlik analizlerini ve çevresel ölçümlerini yapmaya yarayan elde taşınarak kullanılabilecek büyüklükte bir frekans seçici ölçüm sistemidir. Ölçümlerde kullanılan cihaz SRM-3006 selektif (27 MHz – 6 GHz) radyasyon metredir. Kullanılan anten ise 27 MHz-3GHz üç yönlü X,Y ve Z düzlemlerini kapsayan izotropik antendir. Cihaz içerisindeki dâhili GPS modülü sayesinde ölçüm değerleri konum ve zaman verileriyle eş zamanlı olarak raporlanabilmektedir. Yapılacak ölçümler için cihaz üzerinde servis tabloları Türkiye’de kullanılan frekans bandları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Servis tablosu 27 MHz - 3GHz aralığında olup 50 adet frekans bandına ayrılarak ölçümler alınmıştır. Bu sayede her bir frekans bandından gelen etkiyi ayrı ayrı gözlemlemek mümkün hale gelmiştir. Yapılan ölçümler BTK standartları gereği 6 dakikalık periyotlar halinde statik olarak alınmıştır. Bu standartlarda ölçüm alabilmek için cihazın parametreleri bu doğrultuda değiştirilmiştir. Ölçümler Bursa Uludağ

Üniversitesi Görükle Yerleşkesinin içerisinde 15 farklı noktada alınmıştır. Özellikle hastanenin ana girişinde insan varlığının yoğunluğundan dolayı ölçümler yapılmıştır. Her ölçüm periyodu içerisinde cihaz 224 ölçüm olarak bu değerlerin ortalamasını, maksimum ve minimum noktalarını alarak rapor halinde sunmaktadır. Rapor içerisinde ölçüm programına göre üç farklı birimde V/m, A/m ve W/m<sup>2</sup> olarak değerler alınmıştır.

### **3.2. Çalışma Alanı ve Ölçüm Metodu**

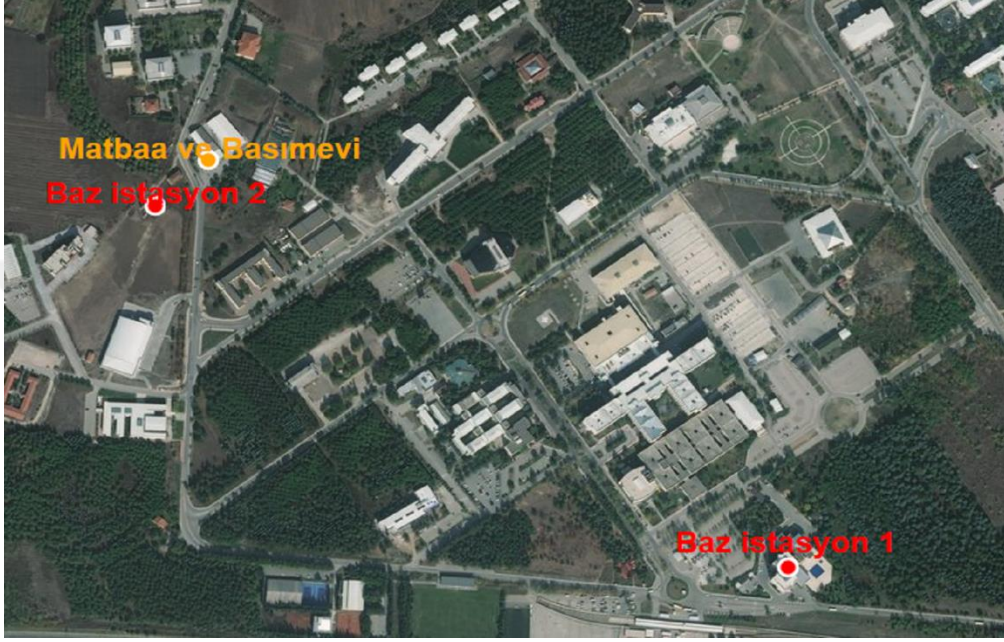
Ölçülen elektrik alan maksimum değerleri harita üzerinde girilerek elektromanyetik kirlilik bölgeleri 2B ve 3B renkli bir harita ile gösterebilmiştir.

#### **3.2.1. Çalışma Alanı Tanıtılması**

Bu çalışmada Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Görükle Kampüsü incelenmiş olup. Özellikle hastanın önünü bölgesin'de ayrılarak incelenmiştir. Öncelikle Bursa Uludağ Üniversitesi hakkında ve Üniversitemizin bölümlere göre dağılımı Tıp, İktisadi ve İdari Bilimler, Mühendislik, Veteriner, Ziraat, Fen-Edebiyat, Eğitim, Mimarlık, Spor Bilimleri ve Sağlık Bilimleri Fakültelerinin tamamı ile Güzel Sanatlar Fakültesinin Resim Bölümü, Devlet Konservatuvar, 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 Kampusu'nda 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 Büyükşehir ilçelerinde bulunan yüksekokullarımız ise eğitim ve öğretim faaliyetlerini isimlerini aldıkları ilçelerde sürdürmektedirler.

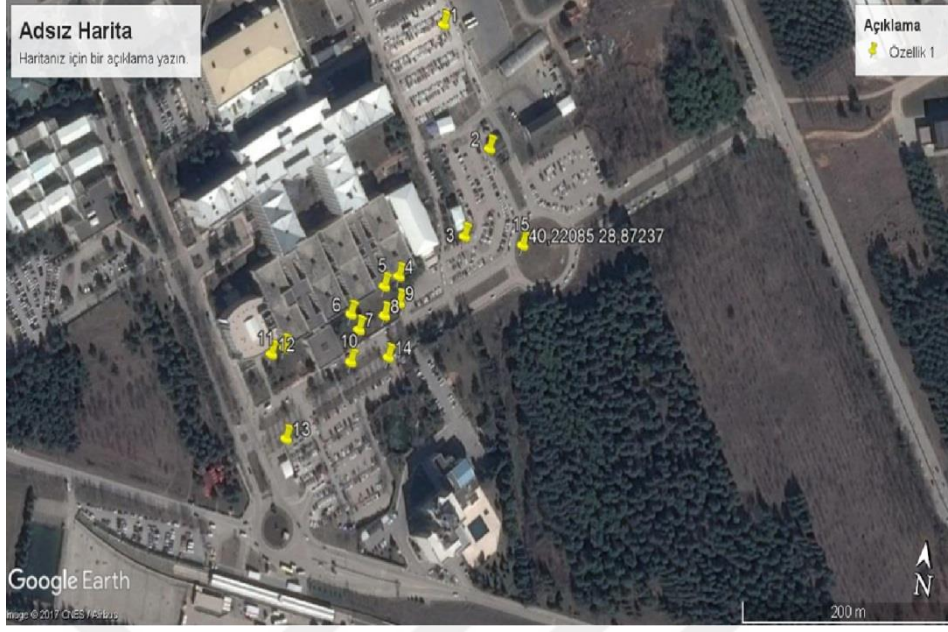
### 3.2.2. Ölçüm Metodu

Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü içinde iki adet GSM Baz istasyonu yer almaktadır. Birincisi tıp fakültesinin acil girişinin karşısında bulunmaktadır. İkincisi üniversitenin matbaa-basım evinin karşısında bulunmaktadır (Şekil 3.2).



**Şekil 3.2.** Bursa Uludağ Üniversitesi'nde hizmet veren GSM baz istasyonları

Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Yerleşkesi 55.000 öğrenci sayısı ve her gün binlerce kişinin giriş çıkış yaptığı tıp fakültesi hastanesi ile insan sirkülasyonu yüksek olan Bursa için önemli noktalardan birisidir. Şekil 3.3'de tıp fakültesinin acil girişinin karşısında bulunan Baz istasyonu (Baz istasyon 1 ). Ayrıca ölçüm aldığımız çalışma alanı ve çalışma alanı üzerindeki yapılar görülmektedir.



**Şekil 3.3.** Kampüs içerisindeki ölçüm noktaları

Ölçümlere başlamadan önce ilk olarak baz istasyonunun önünü çevreleyecek şekilde doğu, batı, kuzey, güney ve merkez olmak üzere yaklaşık 200 m kadar aralıklarla 15 nokta belirlenmiştir. Şekil 3.3'deki GSM baz istasyonu 1 ve önündeki belirlenen noktalarda 31.10.2017 – 22.11.2017 alınan ölçümlerdir. Tüm ölçümler Baz istasyonunun yanında, hücresel abone sayısı yüksek ve trafiği en yoğun olduğunda alınmıştır. Ölçümler hafta içinde, günün farklı saatlerinde, telefonu kullanan kişi sayısını ve hava durumu koşullarına göre alınmış ve (10.00 ile 19.00) saatleri arasında belirlenen konumlarda her ölçüm için 15 adet olmuştur. Bu şekilde aldığımız ölçüm sayısı 5 günde toplam 224 adet olmuştur. 15 adet ölçüm yaklaşık 2 saatlik bir zaman almaktadır. SRM 3006'daki ölçüm programı içerisindeki "ölçüm" adlı programla 6 dakikalık ortalama ile statik ölçüm alınır. Elde edilen Elektrik Alan değerleri SRM 3006 cihazı kullanılarak alınmıştır. Ölçümler alındıktan sonra SRM 3006 ile alınan bu aldığımız veriler USB haberleşmeyle taşınarak bilgisayara aktarılmıştır. Elektrik alan değerinin ortalaması ve maksimum elektrik alan değeri tespit edilmiştir. Bu tespit edilen değer ve yapılan ölçümlere ait sonuçlar çizelge 4.1, çizelge 4.2, çizelge 4.3 ve eklerdeki tablolarda gösterilmiştir.

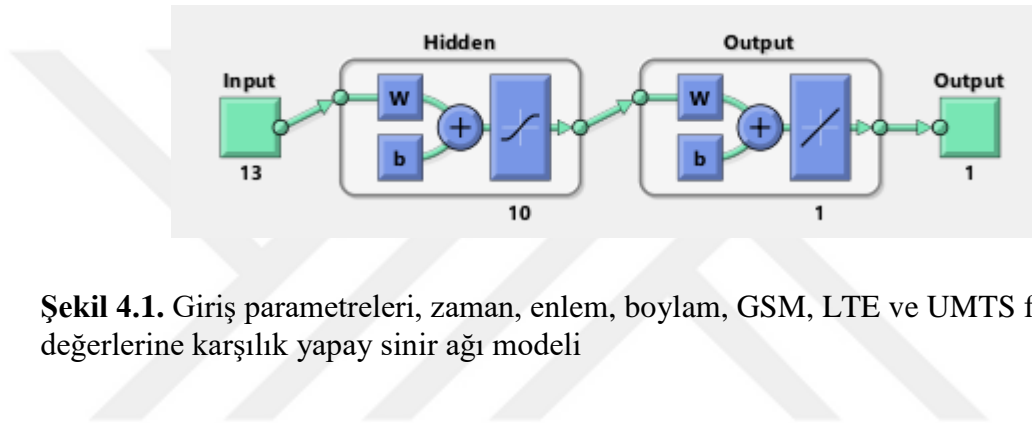
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Elde edilen veriler, elektromanyetik alan gücü standartları ICNIRP ve BTK sınır değerlerine göre verilmiş, YSA ile analiz edilmiştir. Sonuçlarda elektrik alan bazı noktalarda daha yüksek olmadığını incelenmiştir. Ölçümler farklılıkları görmek için günlük zamanlarda 3 ayrı zaman (sabah, öğlen ve akşam) Çizelgelere göre diliminde tekrarlanmıştır. Alınan ölçüm bantları her operatör için uplink ve downlink şekilde GSM 900 MHz için up (890 MHz – 915 MHz) ve down (935 MHz – 946 MHz), GSM 1800 için up (1710 MHz - 1785 MHz) down (1805 MHz - 1880 MHz), GSM 1900 up (1850 MHz -1910 MHz) ve down (1930 MHz – 1990 MHz). UMTS için up (1920 MHz - 1980 MHz) ve down (2110 MHz - 2170 MHz). LTE için up (2500 MHz -2570 MHz) ve down (2620 MHz – 2690 MHz) (Osseiran ve ark. 2016). Bantlar grupların elektrik alan değerleri maksimum ve ortalama elektrik alan değerleri, ortalama manyetik alan değerlerinden oluşan sonuçlar aşağıdaki tablolardaki gibi elde edilmiştir. Ölçümler tamamlandıktan sonra 15 noktada günün 3 farklı ölçüm saatine göre elektrik alan değerlerindeki değişim YSA grafiksel olarak gösterilmiş bu veriler ışığında Yerleşkesi'ndeki Hastane etrafında elektromanyetik kirlilik haritası çıkarılmıştır.

### 4.1. Ölçümler Sonucunda Elde Edilen Veriler

Yapılan ölçümler haftanın farklı günlerinde ve saatlerinde olmak üzere sistematik şekilde sınıflandırılmıştır. Çizelge 4.1.'de Pazartesi günü saat 10:45-12:45 arası belirlenmiş olan 15 farklı noktadaki ölçüm değerleri gösterilmiştir. Çizelge 4.2. 'de Pazartesi günü saat 14:19 – 16:03 arasında. Çizelge 4.3. 'de Pazartesi günü saat 16:55 – 18:38 arasında olmak üzere gün içerisindeki ölçüm sonuçları verilmiştir. Diğer günlere ait ölçüm sonuçları ise Ek-1'de bulunmaktadır. Tüm ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek elektrik alan değeri 6,31 V/m olarak ölçülmüştür. Bu değer BTK yönetmeliğinde verilen 13,5 V/m`lik sınır değerinin altında kalmaktadır.

Sistemik olarak yapılan dış ortam ölçüm sonuçları bir yapay sinir ağı tarafından eğitilmiştir. Tasarlanan yapay sinir ağı yöntemiyle farklı girdiler kullanılarak farklı çıktı parametreleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu oluşturulan ağ Şekil 4.1.'te gösterildiği gibi 13 giriş ve bir çıkış parametresine sahiptir. Bu giriş parametrelerinin üçü sabittir ve diğer iki giriş parametresi elde edilecek çıkış parametresine bağlı olarak değiştirilir. Sabit parametreler (enlem, boylam, ölçüm noktasının ölçülen zaman değerleri, ortalama sıcaklık (°C), nem (%)) ve diğer iki veya daha fazla giriş parametresine bağlı olarak GSM, UMTS ve LTE frekanslarına karşılık gelen ortalama elektrik alan değerleri elde edilir.



**Şekil 4.1.** Giriş parametreleri, zaman, enlem, boylam, GSM, LTE ve UMTS frekans değerlerine karşılık yapay sinir ağı modeli

Eğitim ağı tarafından verilen öngörülen değerlerin doğruluğunu artırmak için, giriş parametrelerini mümkün olduğunca sistemik olarak seçmek gerekir. Rastgele değerler giriş değerleri olarak uygulanırsa, MSE (ortalama karesel hata) değeri artar ve tahmin değerinin doğruluğu düşer. Bu nedenle, giriş veri sayısı çok fazla olmasa da, üç veya üçten fazla farklı birbiriyle ilişkili parametre, ağa giriş değişkenleri olarak uygulanır.

Bu şekilde, diğer iki frekans bileşeninin ortalama elektrik alanı değerleri aynı yöntem kullanılarak tahmin edilir. Ölçülen verilerin% 70'i yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılmıştır; geri kalan % 30 verinin ise ağ testi için kullanılmıştır. Bu yüzdeler, görünür sonuçlara göre, mümkün olan en iyi sonuca göre de değiştirilebilir. Her iki tahmin ağına da gizli katmanda on nöron ve çıktı katmanında bir nöron bulunmaktadır.

**Çizelge 4.1.** Birinci gün (31.10.2017) Pazartesi sabah

<b>31.10.2017 /Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	10.45.39	40.22236	28.87116	2,487	1,661
2	10.53.09	40.22151	28.87186	3,47	2,754
3	11.00.01	40.22084	28.87169	3,882	3,082
4	11.12.55	40.22047	28.871	4,028	2,974
5	11.22.28	40.22038	28.87085	5,391	3,833
6	11.32.16	40.22014	28.87051	5,627	4,08
7	11.40.07	40.22004	28.87062	4,26	3,173
8	11.50.13	40.22017	28.87089	3,702	2,972
9	11.59.16	40.22028	28.87104	3,901	3,031
10	12.07.08	40.2198	28.87057	1,894	1,453
11	12.14.18	40.21982	28.86981	4,458	3,228
12	12.21.11	40.21976	28.86967	4,667	3,655
13	12.27.56	40.21918	28.86995	3,484	2,58
14	12.35.44	40.21988	28.87099	3,189	2,156
15	12.43.21	40.22085	28.87237	4,532	3,301



**Çizelge 4.2.** Birinci gün (10.11.2017) Pazartesi öğlen

<b>10.11.2017 /Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	14:19:35	40.22085	28.87178	3,822	2,693
2	14:27:59	40.22063	28.87105	3,558	2,829
3	14:34:30	40.22044	28.87081	5,055	3,638
4	14:41:00	40.22011	28.87054	5,395	3,81
5	14:47:22	40.22009	28.87065	4,047	3,105
6	14:54:05	40.22021	28.87086	3,886	2,777
7	15:00:36	40.22033	28.8711	3,649	2,636
8	15:08:00	40.21984	28.87053	2,133	1,426
9	15:14:48	40.21985	28.86981	4,392	3,129
10	15:21:58	40.2199	28.8696	4,289	3,146
11	15:30:04	40.21922	28.86994	3,186	2,396
12	15:38:20	40.21988	28.87101	2,975	2,199
13	15:47:54	40.22086	28.8724	4,38	3,357
14	15:55:54	40.2213	28.8721	4,048	3,039
15	16:03:04	40.22147	28.87184	3,573	2,766

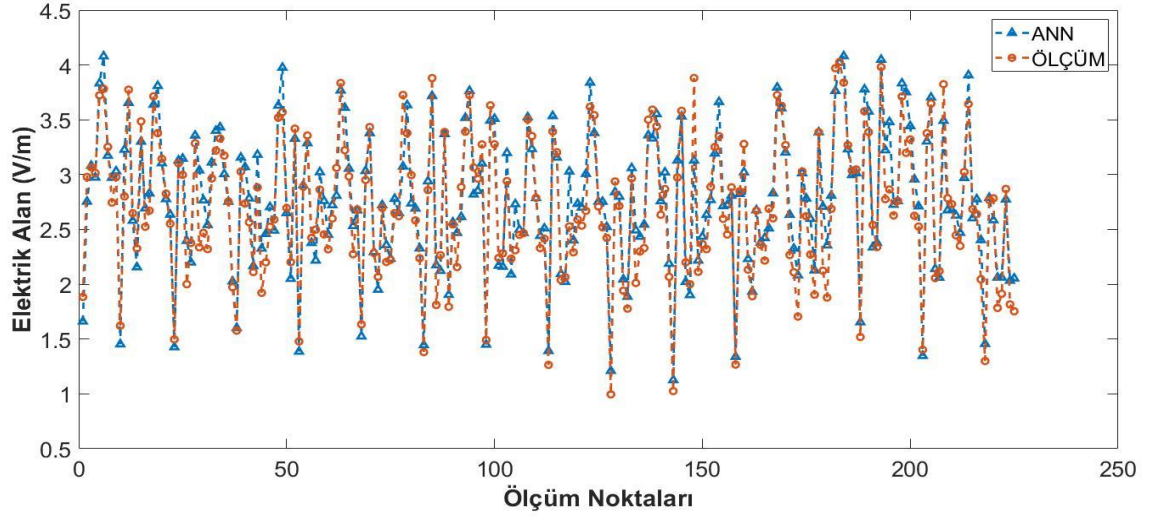


**Çizelge 4.3.** Birinci gün (29.11.2017) Pazartesi akşam

<b>29.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	16:55:49	40.22089	28.87175	3,331	2,541
2	17:03:19	40.22049	28.87114	4,148	3,111
3	17:10:17	40.22036	28.87085	4,809	3,401
4	17:17:27	40.2201	28.87055	4,736	3,432
5	17:24:09	40.22007	28.87068	4,15	3,005
6	17:31:05	40.22017	28.8709	4,634	2,753
7	17:37:48	40.22034	28.87108	2,772	2,026
8	17:45:06	40.21974	28.87054	2,415	1,601
9	17:52:27	40.21985	28.86982	4,6	3,156
10	17:59:17	40.21985	28.86961	5,202	3,069
11	18:06:40	40.21918	28.86996	3,554	2,783
12	18:14:35	40.21983	28.87092	3,493	2,166
13	18:23:12	40.22084	28.87236	3,993	3,182
14	18:31:16	40.22142	28.87183	3,289	2,326
15	18:38:03	40.22159	28.87177	3,592	2,46

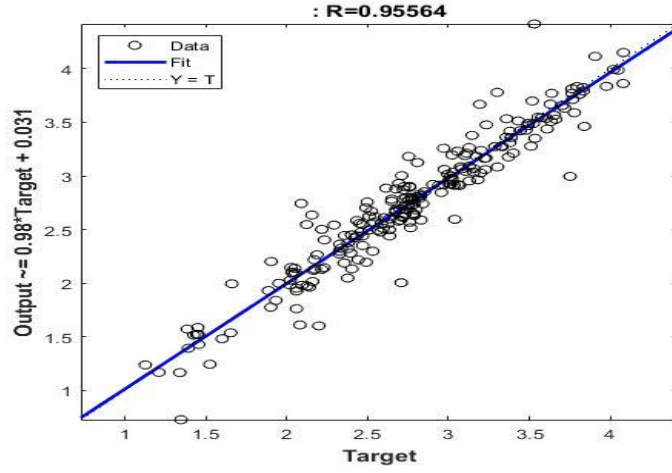
## 4.2. Ölçüm ve Yapay Sinir Ağı Sonuçları

GSM için YSA modeli sonuçları Şekil 4.2.'de gösterilmektedir. Şekil 4.3'de ise şekil 4.2'de elde edilen sonuçların doğruluğu görülmektedir.



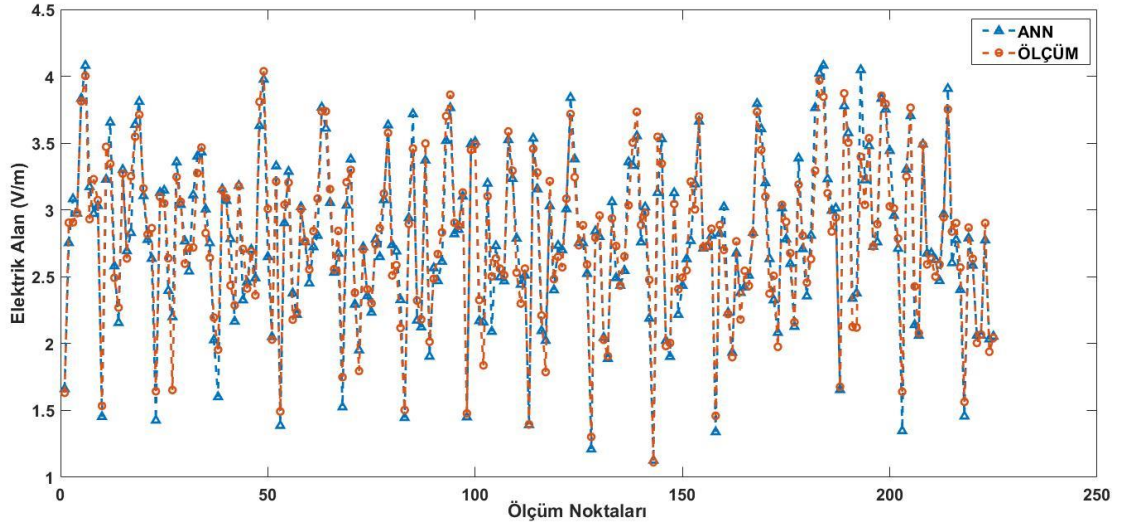
**Şekil 4.2.** YSA ile elde edilen GSM E Alan Değerlerinin ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması

GSM frekansları için toplam alınan elektrik alan ölçüm değerleri ile yapılan yapay sinir ağı modellemesi sonucu öğrenilmiş ağın regresyon çıktısı şekil 4.3'de gösterilmektedir. Gerçek ölçüm sonuçları ile yapay sinir ağından elde edilen sonuçlar neticesinde regresyon katsayısı 0.95564 olmaktadır.



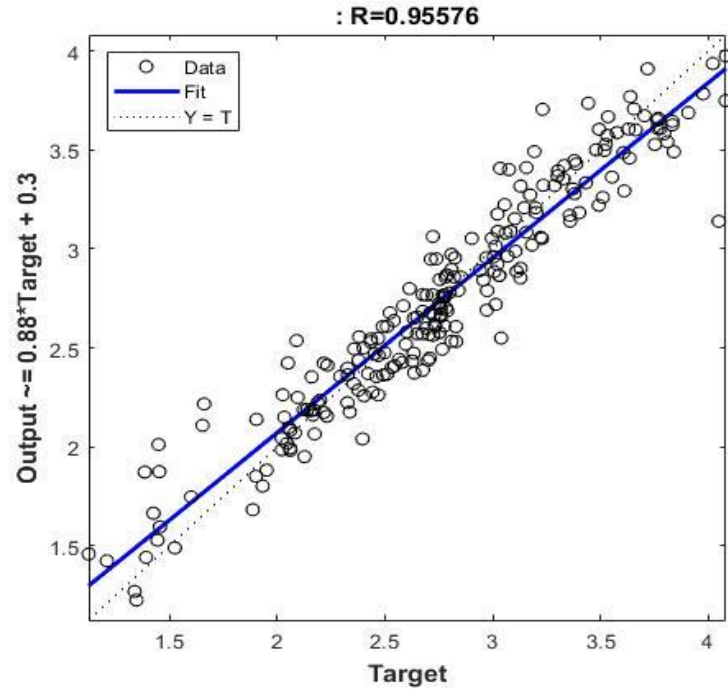
**Şekil 4.3.** Ölçülen GSM frekansı elektrik alan değerlerinin YSA ile regresyon sonuçları

UMTS için YSA modeli sonuçları Şekil 4.4.'de gösterilmektedir. Şekil 4.5'de ise şekil 4.4'de elde edilen sonuçların doğruluğu görülmektedir.



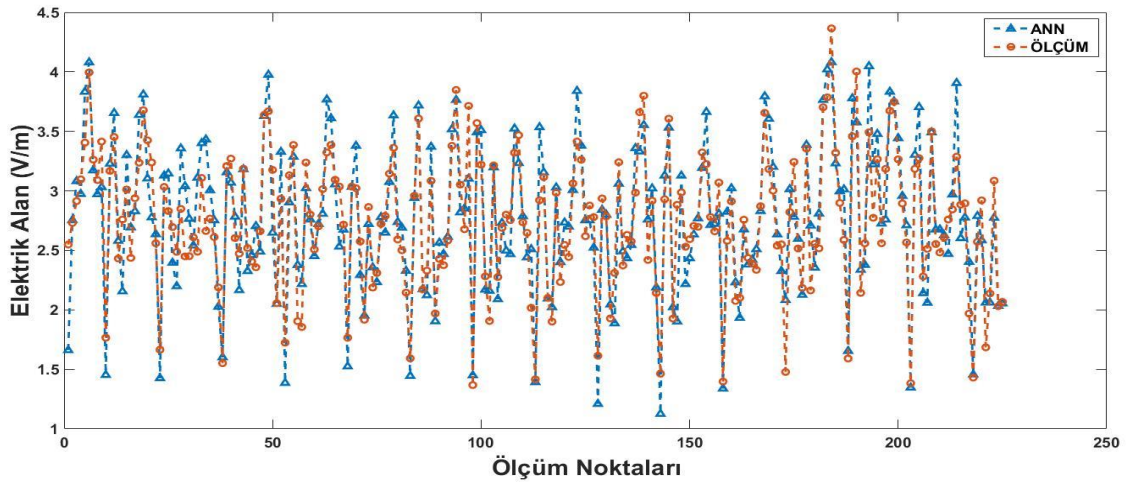
**Şekil 4.4.** YSA ile elde edilen UMTS E Alan Değerlerinin ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması

UMTS frekansları için toplam alınan elektrik alan ölçüm değerleri ile yapılan yapay sınır ağları modellenmesi sonucu öğrenilmiş ağın regresyon çıktısı şekil 4.5'de gösterilmektedir. Gerçek ölçüm sonuçları ile yapay sınır ağından elde edilen sonuçlar neticesinde regresyon katsayısı 0.95576 olmaktadır.



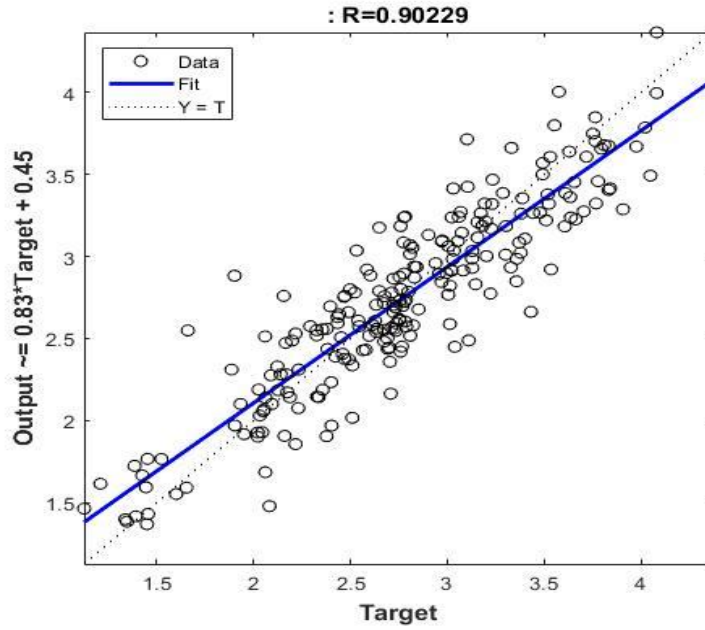
**Şekil 4.5.** Ölçülen UMTS frekansı elektrik alan değerlerinin YSA ile regresyon sonuçları

LTE için YSA modeli sonuçları Şekil 4.6.'de gösterilmektedir. Şekil 4.7'de ise şekil 4.6'de elde edilen sonuçların doğruluğu görülmektedir.



**Şekil 4.6.** YSA ile elde edilen LTE E Alan Değerlerinin ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması

LTE frekansları için toplam alınan elektrik alan ölçüm değerleri ile yapılan yapay sınır ağları modellemesi sonucu öğrenilmiş ağız regresyon çıktısı şekil 4.7’de gösterilmektedir. Gerçek ölçüm sonuçları ile yapay sınır ağından elde edilen sonuçlar neticesinde regresyon katsayısı 0.90229 olmaktadır.



Şekil 4.7. Ölçülen LTE frekansı elektrik alan değerlerinin YSA ile regresyon sonuçları

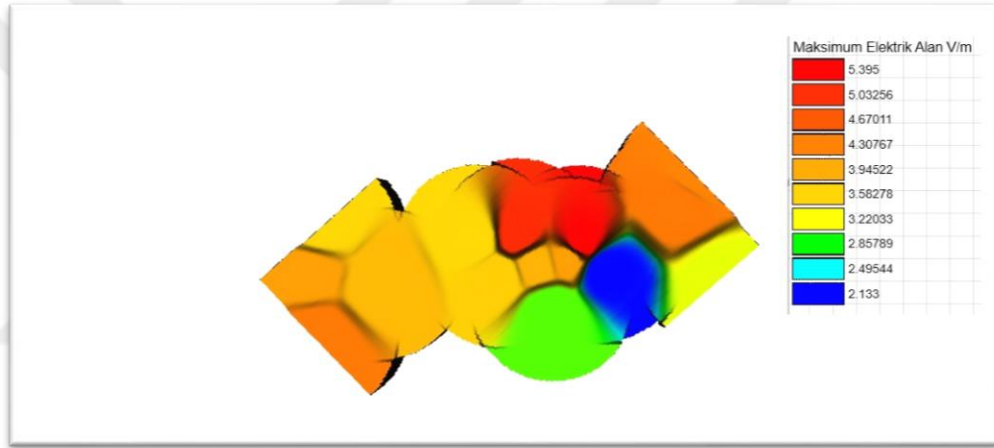
Çizelge 4.4. GSM E-alan korelasyon katsayısı çizelge uzat diğer frekanslara göre

	Method	ANN	Measurement
GSM	Measurement	1	0.9558
	ANN	0.9558	1
UMTS	Measurement	1	0.9640
	ANN	0.9640	1
LTE	Measurement	1	0.9023
	ANN	0.9023	1

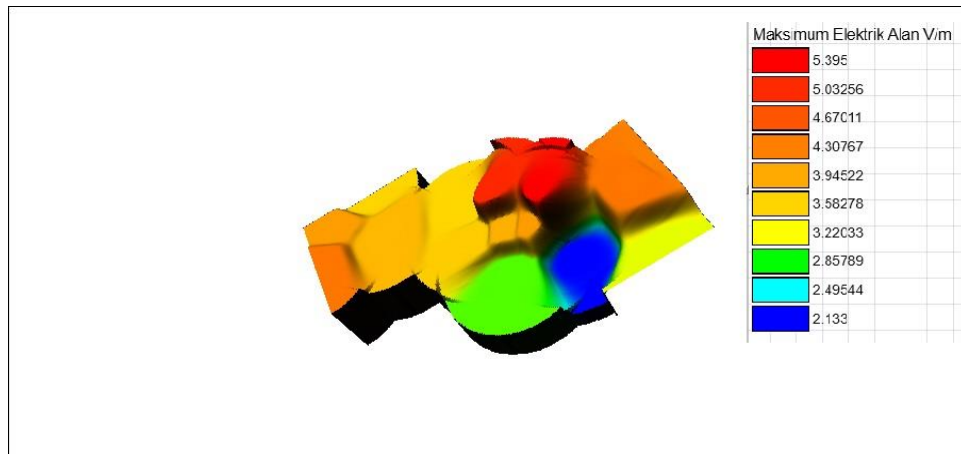
Çizelge 4.4.'de görüldüğü gibi ölçüm sonuçları ve yapay sinir ağları tahmin yöntemi kıyaslandığında frekanlara göre korelasyonun katsayısı GSM ise 0.09558 UMTS ise 0.9640 ve LTE ise 0.9023 olarak hesaplanmıştır. Matlab üzerine yapılan çalışmaları ek'te bulunur.

### 4.3. Haritalama

Ölçülen elektrik alan değerleri maksimum elektrik girilerek elektromanyetik kirlilik bölgelerini olup olmadığını renkli bir harita ile gösterildi harita'da gösteren radyasyon kaynaklanan elektromanyetik kirlilik renk ile seviyesini temsil edildi.



Şekil 4.8. Bursa Uludağ Üniversitesi iki boyutlu elektrik alan haritası



Şekil 4.9. Bursa Uludağ Üniversitesi üç boyutlu elektrik alan haritası

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında Bursa Uludağ Üniversitesi Merkez Yerleşkesi'ndeki elektromanyetik kirlilik incelenmiştir. Bursa Uludağ Üniversite Hastanesi, Bursa kentindeki en önemli hastanelerden biridir. Ayrıca ölçümler alınırken günün farklı saatlerinde ölçümler hafta içi 5 gün boyunca alınmış, eğitim sürecinde kullanılan teknolojik cihazlardan ve çeşitli sosyal aktivitelerden kaynaklanan potansiyel ışımaya riski, günlük yaşamda analiz edilmiştir. Ölçümler alınırken yerleşkenin 15 farklı noktasında ayarlanmıştır. Sonuçlar ICNIRP ve Bilgi Teknolojileri Kurumu (BTK) tarafından ilan edilen ve çizelge 2.6, 2,9 ve 2,10'de verilen standart değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Alınan ölçümlerin sonuçları çizelge 4.1 – 4.15'de gösterilmiştir. Bu çizelgelerde GSM, UMTS ve LTE teknolojilerinde kullanılan 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz ve 2670 MHz bantlar alınmıştır. Türkiye'de kullanılan 3 temel operatörün yaymış olduğu elektrik alan değerleri tespit edilip, ortalama elektrik alan ve maksimum elektrik alan değerleri ölçülmüştür. Aynı zamanda istatistiksel kümeye göre, ortamdaki ölçüm, nem, zaman, gün ve elektrik alanı değerleri bir veri konumunu gösterecek şekilde YSA yöntemi uygulanmıştır. Değerler, bir hafta boyunca saatlik olarak ölçülmüş ve bu yöntemler için matematiksel veritabanı EK 4.1 – 4.15'de verilmiştir.

Ortalama alan değerleri, elektrik alanın 6 dakikalık ölçümlerin ortalama değerine göre hesaplanmıştır. Buna göre yapay sinir ağları ile elde edilen sonuçlara regresyon analizi uygulanmıştır.

GSM, UMTS ve LTE frekanslarında Narda SRM 3006 ile yapılan ölçüm sonuçlarına göre baz istasyonundan belirli bir konumdaki elektrik alan değerleri, günün farklı zamanlarında ölçülmüştür. Maksimum elektrik alanı değeri 6,31 V/m ve minimum elektrik alanı değeri 1,65 V/m, dönemin elektrik alanı değerinin minimum ortalaması 1,126 V/m ve maksimum elektrik alanı değerinin ortalaması 4,081 V/m olmuştur.

Yapılan ölçüm sonuçları neticesinde operatör 1'in değerleri, toplam elektrik alan değerinin GSM % 47,96'sini, UMTS değeri % 47,40'ını, LTE değeri ise % 4,62'sini

oluşturmaktadır. Operatör 2'nin değerleri, toplam elektrik alan değerinin GSM % 44,49'sini, UMTS değeri % 37,41'sini, LTE değeri ise % 18,08'sini oluşturmaktadır.

Operatör 3'ün değerleri, toplam elektrik alanının değerinin GSM'de % 59,55'sini, UMTS değeri ise % 39,51'sini, LTE değeri ise % 0,92'sini oluşturmaktadır.

2 boyutlu ve 3 boyutlu haritalarda elektrik alanı üretebilmek için anlık elektrik alan ölçüm değerleri 100 kHz - 3 GHz aralığında seçilmiştir. Haritalardaki en düşük değerler mavi tonlarda, en yüksek değerler kırmızı tonlarda gösterildi.

Sonuç olarak, üniversite yerleşkesinde yaptığımız ölçümler sadece Nilüfer ilçesinin küçük bir parçasında yapılmıştır bu nedenle yapılan değerlendirmenin Bursa'nın tüm bölgelerinde geçerli olduğu söylenemez. Gelecekte daha genel ve geniş bir değerlendirme yapabilmek için Bursa'nın diğer ilçelerinde de benzer araştırmalar yapılarak sonuçlar incelenmelidir. Ancak Bursa Uludağ Üniversitesi'nin Merkez Yerleşkesi'nde baz istasyonlarında yapılan EM kirlilik ölçüm ve inceleme çalışması sonucunda; kurulu baz istasyonlarının TÜRKİYE'nin Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) sorumluluğunda uygulanan Uluslar arası İyonlaştırılmayan Radyasyondan korunma komisyonu (ICNIRP) tarafından düzenlenen sınır değerlere uygun çalıştıkları tespit edilmiştir. Ölçüm sonuçları daha yakından incelendiğinde ICNIRP limitlerinden daha düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir.

Mobil telefon istasyonlarının yapımı ve montajı için dikkat edilmesi gereken hususlar önerilmiştir.

1. Binanın veya yapılacak kulenin yüksekliği 15-50 m arasında olmalıdır.
2. Antenin yüksekliği, 10 metre çapında bir metin dairesinde bitişik binalardan daha yüksek olmalıdır.
3. Antenin monte edildiği binanın çatısı betonarme olmalıdır.
4. Aynı binanın çatısında bulunan iki istasyon arasındaki mesafe 12 metreden az olmamalıdır.
5. Anten ile insan vücudu arasındaki mesafe, ana giriş yönünde 6 metreden az olmamalıdır.



6. Antenler, hastaneler gibi tamamen bağımsız binaların çatısına monte edilmemelidir.
7. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği ve Ulusal Uluslararası Kalibrasyon Enstitüsü ve Türkiye’de yayımlanan radyasyon şartnamesine göre şirketleri aşağıdaki şartlarda gösterildiği gibi azami olarak ifade eder Çizelge (2.8 ve 2.9).
8. Antenler, çocukların okul binalarına yönlendirilmemelidir.

Elektromanyetik dalgalardan korunmanın pratik yöntemleri:

Elektromanyetik ışımaya emisyonu çerçevesinde kişilerin korunmasını ve emniyetini sağlamak için genel prensipler:

1. Elektromanyetik ışımaya kaynakları için korunan alanlar sağlanmalıdır.
2. Yeşil gibi uyarı sinyallerini (yansıtıcı ışık sinyalleri) koymak, cihazın çalıştığını gösterir. Kırmızı, cihazın sürekli çalışır durumda olduğunu ve böylece radyasyon yayılımı sırasında girişten kaçınıldığını göstermektedir.
3. Konut şehirleri içinde veya okullar ve üniversiteler gibi kamu hizmet yerlerinin yakınında yeni mobil ağlar kurma izinlerinin yasaklanması, bunların şehirlerin dışına aktarılması daha iyidir.
4. İnsan vücudunda 10 nW/cm olan enerji yoğunluğunu aşmayacak şekilde verilen ışımaya aktivitesini azaltılmalıdır.
5. Kulaklıklarını yalnızca kablolu olarak kullanmak, kısa menzilli Bluetooth’la çalışan kulaklıklar üretmek, bunları kullanarak herhangi bir zararı kanıtlayan veya reddedenler için bir tür araştırma ve tartışma haline gelen kulaklıklar. Radyo dalgalarının beyne erişimini azaltmak için kablolu kulaklıklar kullanılmalıdır.

## **EKLER**

- EK 1** İkinci gün (13.11.2017) Salı Sabah
- EK 2** İkinci gün (13.11.2017) Salı öğlen
- EK 3** İkinci gün (13.11.2017) Salı Akşam
- EK 4** Üçüncü gün (14.11.2017) Çarşamba Sabah
- EK 5** Üçüncü gün (14.11.2017) Çarşamba öğlen
- EK 6** Üçüncü gün (14.11.2017) Çarşamba akşam
- EK 7** Dördüncü gün (15.11.2017) Perşembe sabah
- EK 8** Dördüncü gün (15.11.2017) Perşembe öğlen
- EK 9** Dördüncü gün (15.11.2017) Perşembe akşam
- EK 10** Beşinci gün (22.11.2017) Cuma sabah
- EK 11** Beşinci gün (22.11.2017) Cuma öğlen
- EK 12** Beşinci gün (22.11.2017) Cuma akşam
- EK 13a.** Ölçümlerde kullanılan SRM3006 cihazından alınan veri dosyaları
- EK 13b.** Ölçümlerde kullanılan SRM3006 cihazından alınan ve YSA için kullanılan giriş ve çıkış veri dosyalarının düzenlenmiş şekli
- EK 14** MATLAB R2018b programı YSA ana sayfası
- EK 15** YSA veri seçme sayfası
- EK 16** YSA ağ eğitim sayfası
- EK 17** Ağ değerlendirme sayfası
- EK 18** Sonuç kayıt sayfası

**EK 1. İkinci gün (13.11.2017) Salı Sabah**

<b>13.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	10:28:32	40.2209	28.87174	3,997	2,704
2	10:35:52	40.22058	28.87107	3,311	2,49
3	10:42:30	40.22038	28.87089	5,397	3,63
4	10:49:12	40.22016	28.87047	5,306	3,976
5	10:56:06	40.22008	28.87065	3,48	2,649
6	11:02:29	40.22015	28.87076	2,893	2,05
7	11:08:59	40.22025	28.87095	4,166	3,328
8	11:17:13	40.21985	28.87048	1,937	1,386
9	11:24:07	40.21982	28.86984	4,609	2,903
10	11:31:11	40.21983	28.86958	4,697	3,287
11	11:38:56	40.21919	28.86994	3,488	2,377
12	11:46:55	40.21976	28.87085	3,068	2,217
13	11:55:34	40.22085	28.87239	5,051	3,023
14	12:02:17	40.22137	28.87186	3,749	2,76
15	12:08:45	40.22152	28.87179	3,481	2,452

**EK 2. İkinci gün (13.11.2017) Salı öğlen**

<b>13.11.2017 / Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	14:18:49	40.22089	28.87182	4,004	2,722
2	14:26:25	40.22063	28.87109	3,661	2,808
3	14:33:17	40.2204	28.87082	5,338	3,768
4	14:39:49	40.22018	28.8705	5,056	3,61
5	14:46:20	40.22013	28.87066	4,833	3,055
6	14:53:01	40.22024	28.87085	3,622	2,532
7	14:59:50	40.22033	28.8711	4,057	2,674
8	15:07:06	40.21986	28.87055	2,693	1,525
9	15:14:11	40.21985	28.86977	3,997	3,034
10	15:20:51	40.21988	28.86953	4,841	3,379
11	15:28:31	40.2192	28.86995	2,922	2,293
12	15:36:41	40.21982	28.87088	2,984	1,951
13	15:46:00	40.22086	28.8724	3,968	2722
14	15:53:36	40.2214	28.87187	3,222	2,357
15	16:00:36	40.22155	28.87176	2,991	2,233

**EK 3. İkinci gün (13.11.2017) Salı Akşam**

<b>13.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	17:23:04	40.22092	28.87177	3,498	2,78
2	17:30:23	40.22061	28.87120	3,255	2,649
3	17:37:13	40.22039	28.87085	4,148	3,075
4	17:44:10	40.22016	28.87050	5,051	3,634
5	17:50:51	40.22008	28.87062	3,946	2,738
6	17:57:30	40.22020	28.87081	3,439	2,691
7	18:04:15	40.22033	28.87105	3,026	2,328
8	18:12:00	40.21984	28.87051	2,081	1,445
9	18:19:14	40.21984	28.86981	3,865	2,94
10	18:26:00	40.21984	28.86974	4,94	3,718
11	18:33:40	40.21920	28.86999	2,79	2,174
12	18:41:48	40.21984	28.87092	3,43	2,123
13	18:50:15	40.22083	28.87237	4,087	3,371
14	18:57:37	40.22141	28.87179	2,724	1,904
15	19:04:13	40.22156	28.87173	3,365	2,565

**EK 4. Üçüncü gün (14.11.2017) Çarşamba Sabah**

<b>14.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	10:28:37	40.22089	28.87172	3,606	2,469
2	10:35:58	40.22057	28.87113	3,669	2,614
3	10:42:35	40.22039	28.87083	5,372	3,518
4	10:49:37	40.22016	28.87048	5,357	3,764
5	10:56:03	40.22009	28.87064	3,889	2,82
6	11:02:57	40.22019	28.87086	3,938	2,852
7	11:09:57	40.22028	28.87106	3,905	3,102
8	11:17:28	40.21988	28.87043	2,033	1,45
9	11:24:41	40.21981	28.86981	4,777	3,493
10	11:31:22	40.21979	28.86964	6,02	3,51
11	11:38:57	40.21915	28.87002	3,161	2,17
12	11:46:18	40.21982	28.87093	3,455	2,16
13	11:57:37	40.22086	28.87236	4,461	3,198
14	12:04:31	40.22138	28.87184	3,092	2,09
15	12:11:01	40.22161	28.87171	3,494	2,731

**EK 5.** Üçüncü gün (14.11.2017) Çarşamba öğlen

<b>14.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	14:17:36	40.22088	28.87181	3,243	2,498
2	14:25:34	40.22063	28.87107	3,102	2,468
3	14:32:54	40.2204	28.87081	5,321	3,524
4	14:39:51	40.22016	28.87048	4,845	3,234
5	14:46:32	40.2201	28.87064	3,767	2,787
6	14:53:22	40.22018	28.87089	3,564	2,442
7	15:00:12	40.2203	28.8711	3,39	2,51
8	15:07:56	40.21992	28.87049	1,868	1,392
9	15:15:19	40.21986	28.86981	4,922	3,535
10	15:22:13	40.21987	28.8696	4,388	3,156
11	15:30:03	40.2192	28.86998	2,813	2,095
12	15:38:47	40.21981	28.87088	2,745	2,022
13	15:47:48	40.22086	28.87238	4,45	3,029
14	15:55:17	40.22141	28.87183	3,508	2,401
15	16:02:21	40.22158	28.87177	3,747	2,734

**EK 6.** Üçüncü gün (14.11.2017) Çarşamba akşam

<b>14.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	17:18:34	40.22088	28.87168	4,023	2,7
2	17:25:57	40.22058	28.87106	4,151	3,007
3	17:32:45	40.2204	28.87083	6,131	3,84
4	17:39:30	40.22015	28.87051	4,579	3,38
5	17:46:01	40.22007	28.87069	4,301	2,753
6	17:52:41	40.22021	28.87088	3,601	2,753
7	17:59:08	40.22031	28.87111	3,472	2,523
8	18:06:34	40.21996	28.87043	1,65	1,21
9	18:13:35	40.21983	28.86982	4,096	2,841
10	18:20:16	40.21985	28.86972	3,974	2,8
11	18:27:39	40.21921	28.87002	2,756	2,045
12	18:35:13	40.21986	28.87093	3,044	1,887
13	18:43:30	40.22082	28.87238	4,067	3,06
14	18:51:07	40.22147	28.87182	3,652	2,492
15	18:57:34	40.22164	28.87176	3,278	2,434



**EK 7. Dördüncü gün (15.11.2017) Perşembe Sabah**

<b>15.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	10:42:41	40.22091	28.87173	3,94	2,545
2	10:50:23	40.2206	28.87109	5,23	3,359
3	10:57:16	40.22038	28.87083	4,436	3,331
4	11:04:20	40.22016	28.87046	5,287	3,553
5	11:10:56	40.2201	28.87067	3,691	2,759
6	11:17:34	40.2202	28.87088	4,321	3,021
7	11:24:09	40.22032	28.87105	2,853	2,188
8	11:31:52	40.21981	28.8705	1,857	1,126
9	11:39:38	40.21983	28.8698	4,32	3,129
10	11:47:00	40.21982	28.86971	5,349	3,531
11	11:54:30	40.21918	28.86998	2,809	2,022
12	12:02:31	40.21984	28.87095	2,818	1,902
13	12:11:07	40.22087	28.87235	4,19	3,128
14	12:18:33	40.2214	28.87185	3,173	2,217
15	12:25:16	40.22159	28.87176	3,713	2,434

**EK 8. Dördüncü gün (15.11.2017) Perşembe öğlen**

<b>15.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	14:15:09	40.22086	28.87177	3,599	2,633
2	14:22:39	40.22067	28.87096	3,971	2,769
3	14:29:18	40.2204	28.87085	4,916	3,193
4	14:36:19	40.22019	28.87047	5,035	3,663
5	14:43:04	40.22008	28.87067	3,378	2,713
6	14:50:06	40.22019	28.87087	3,461	2,723
7	14:57:10	40.22031	28.87107	3,965	2,808
8	15:04:48	40.21987	28.87051	1,971	1,339
9	15:12:05	40.21985	28.86983	4,004	2,824
10	15:19:02	40.21988	28.86961	4,516	3,022
11	15:26:54	40.21922	28.86998	3,043	2,231
12	15:35:00	40.21984	28.87095	2,718	1,933
13	15:44:44	40.22086	28.87237	3,828	2,676
14	15:52:15	40.22141	28.87181	3,091	2,381
15	15:59:04	40.22156	28.87178	3,306	2,422

**EK 9.** Dördüncü gün (15.11.2017) Perşembe Akşam

<b>15.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	17:16:42	40.22092	28.87185	3,322	2,51
2	17:23:50	40.22055	28.87119	3,844	2,83
3	17:30:24	40.22039	28.87082	5,101	3,795
4	17:37:04	40.22028	28.87050	4,908	3,606
5	17:43:35	40.22015	28.87059	4,654	3,202
6	17:49:59	40.22019	28.87084	3,298	2,634
7	17:57:03	40.22031	28.87105	3,152	2,326
8	18:04:29	40.21982	28.87057	2,082	2,082
9	18:11:16	40.21986	28.86980	4,516	3,014
10	18:18:09	40.21976	28.86953	3,989	2,782
11	18:25:46	40.21919	28.86996	3,547	2,597
12	18:33:51	40.21985	28.87092	3,342	2,127
13	18:45:40	40.22083	28.87242	4,519	3,387
14	18:52:46	40.22139	28.87181	4,154	2,708
15	18:59:39	40.22156	28.87175	3,207	2,355

**EK 10.** Beşinci gün (22.11.2017) Cuma Sabah

<b>22.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	11:07:03	40.2209	28.87182	4,307	2,809
2	11:14:44	40.22057	28.87113	5,586	3,764
3	11:21:15	40.22041	28.87083	6,165	4,021
4	11:28:28	40.22009	28.87062	5,466	4,081
5	11:34:59	40.22004	28.87068	4,302	3,231
6	11:41:34	40.2202	28.87085	4,089	2,996
7	11:48:20	40.22031	28.87107	4	3,013
8	11:55:43	40.21983	28.87053	2,711	1,654
9	12:02:58	40.21983	28.8698	5,088	3,778
10	12:09:39	40.21981	28.86971	5,07	3,576
11	12:17:21	40.21916	28.87001	2,94	2,337
12	12:24:52	40.21985	28.87098	3,491	2,378
13	12:33:36	40.22086	28.87226	5,676	4,048
14	12:40:49	40.22142	28.87185	4,025	3,223
15	12:47:20	40.22162	28.87174	4,742	3,479

**EK 11.** Beşinci gün (22.11.2017) Cuma Öğlen

<b>22.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	13:53:19	40.22087	28.87175	3,966	2,726
2	14:00:55	40.22062	28.87104	3,756	2,759
3	14:07:31	40.2204	28.87082	5,768	3,833
4	14:14:32	40.22006	28.87056	5,398	3,752
5	14:21:36	40.22006	28.87067	4,513	3,443
6	14:28:58	40.22019	28.87088	4,076	2,957
7	14:38:04	40.22029	28.87109	3,447	2,711
8	14:46:33	40.21982	28.87051	2,012	1,347
9	14:53:46	40.21981	28.86983	4,471	3,303
10	15:01:03	40.21991	28.86952	5,676	3,704
11	15:08:22	40.21919	28.87001	2,92	2,14
12	15:16:14	40.21984	28.87094	3,016	2,06
13	15:24:46	40.2208	28.8724	4,515	3,492
14	15:32:19	40.22138	28.8718	3,569	2,675
15	15:38:56	40.2216	28.8718	3,697	2,675

**EK 12.** Beşinci gün (22.11.2017) Cuma Akşam

<b>22.11.2017/ Ölçüm noktası</b>	<b>SAAT</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Maksimum E Alan [V/m]</b>	<b>Ortalama E Alan [V/m]</b>
1	16:55:49	40.22089	28.87181	3,303	2,627
2	17:03:19	40.22054	28.87114	3,256	2,47
3	17:10:17	40.2204	28.87085	4,45	2,97
4	17:17:27	40.22017	28.87051	4,971	3,907
5	17:24:09	40.22009	28.87069	3,374	2,603
6	17:31:05	40.22017	28.8709	3,655	2,776
7	17:37:48	40.22031	28.87109	3,26	2,403
8	17:45:06	40.21985	28.87052	2,11	1,456
9	17:52:27	40.21975	28.86991	3,774	2,789
10	17:59:17	40.21986	28.86966	3,574	2,585
11	18:06:40	40.2192	28.87002	2,725	2,061
12	18:14:35	40.21985	28.87093	3,203	2,061
13	18:23:12	40.22084	28.87236	3,663	2,774
14	18:31:16	40.2214	28.87181	2,669	2,033
15	18:38:03	40.22152	28.87179	2,764	2,054

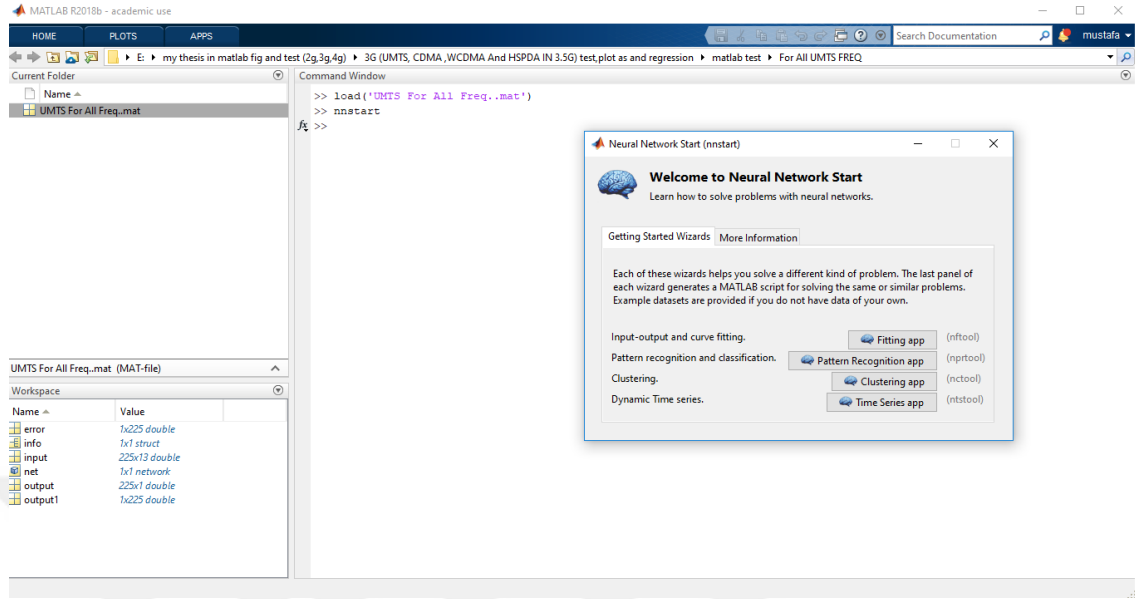
## EK 13a. Ölçümlerde kullanılan SRM3006 cihazından alınan veri dosyaları

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1	31-10-17	Enlem	Boylam	Maks E	Ortalama E		Saat	Saat	Sıcaklık	Nem	Band	FM	VHF	UHF	Avea_800	Vodafone	Turkcell	Avea_840	Vodafone	Turkcell	Av
2	1	40.22236	28.87116	2.487	1.661		10:45:39	0.448368	11.3	57	0.02371	0.02362	0.0236	0.02788	0.4666	0.3973	0.2332	0.003398	0.003399	0.00344	0
3	2	40.22151	28.87186	3.47	2.754		10:53:09	0.453576	11.3	57	0.02997	0.02593	0.03021	0.03143	0.7763	0.6836	0.5025	0.004376	0.004351	0.004394	0
4	3	40.22084	28.87169	3.882	3.082		11:00:01	0.458345	11.3	57	0.03382	0.02567	0.03422	0.03458	0.6602	0.7521	0.5065	0.004964	0.004918	0.004932	0
5	4	40.22047	28.871	4.028	2.974		11:12:55	0.467303	11.3	57	0.03003	0.02484	0.03059	0.0307	0.6952	0.6	0.425	0.004428	0.004393	0.004393	0
6	5	40.22038	28.87085	5.391	3.833		11:22:28	0.473935	11.3	57	0.04768	0.04015	0.04864	0.04869	0.8498	0.761	0.6073	0.00704	0.007001	0.007052	0
7	6	40.22014	28.87051	5.627	4.08		11:32:16	0.480741	11.3	57	0.04284	0.04099	0.04363	0.0442	0.8676	0.7288	0.5713	0.006317	0.006296	0.006352	0
8	7	40.22004	28.87062	4.26	3.173		11:40:07	0.486192	11.3	57	0.0342	0.03248	0.03474	0.03593	0.7308	0.5514	0.6509	0.005026	0.004984	0.005026	0
9	8	40.22017	28.87089	3.702	2.972		11:50:13	0.493206	11.3	57	0.03412	0.03696	0.03467	0.03717	0.8118	0.7096	0.4878	0.005025	0.00498	0.005033	0
10	9	40.22028	28.87104	3.901	3.031		11:59:16	0.499491	11.3	57	0.03428	0.03273	0.03479	0.0387	1.009	0.8677	0.5983	0.00504	0.004969	0.005034	0
11	10	40.2198	28.87057	1.894	1.453		12:07:08	0.504954	11.3	57	0.02419	0.02174	0.02425	0.02485	0.3088	0.2465	0.4289	0.003513	0.003521	0.003558	0
12	11	40.21982	28.86981	4.458	3.228		12:14:18	0.509931	11.3	57	0.03039	0.03005	0.03098	0.03121	0.7192	0.937	0.5717	0.004505	0.004471	0.004446	0
13	12	40.21976	28.86967	4.667	3.655		12:21:11	0.514711	11.3	57	0.04294	0.03414	0.04425	0.04443	0.8698	1.217	0.445	0.006373	0.006374	0.006469	0
14	13	40.21918	28.86995	3.484	2.58		12:27:56	0.519398	11.3	57	0.03042	0.0296	0.03121	0.03232	0.6589	0.6681	0.6618	0.004483	0.004473	0.004504	0
15	14	40.21988	28.87099	3.189	2.156		12:35:44	0.524815	11.3	57	0.02725	0.02795	0.02756	0.02864	0.5117	0.2589	0.7361	0.003984	0.00393	0.004013	0
16	15	40.22085	28.87237	4.532	3.301		12:43:21	0.530104	11.3	57	0.04282	0.03042	0.04382	0.04419	0.5784	0.6615	0.2915	0.006362	0.006295	0.006382	0
17																					
18																					

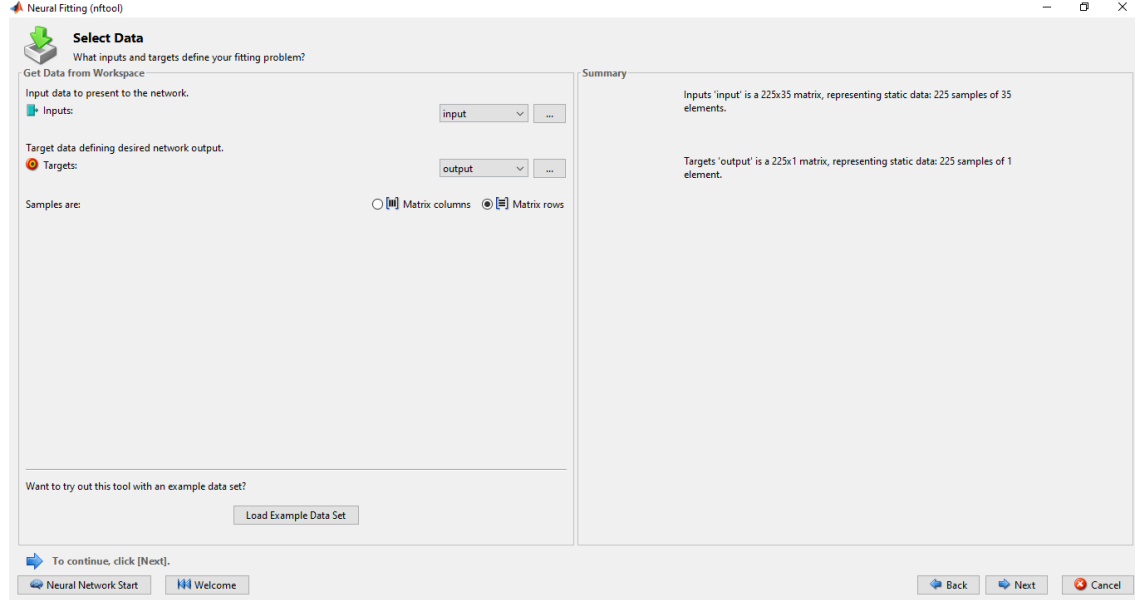
## EK 13b. Ölçümlerde kullanılan SRM3006 cihazından alınan ve YSA için kullanılan giriş ve çıkış veri dosyalarının düzenlenmiş şekli

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				

## EK 14. MATLAB R2018b programı YSA ana sayfası



## EK 15. YSA veri seçme sayfası





## EK 16. YSA ağ eğitim sayfası

Neural Fitting (nftool)

### Train Network

Train the network to fit the inputs and targets.

Train Network

Choose a training algorithm:

Levenberg-Marquardt

This algorithm typically requires more memory but less time. Training automatically stops when generalization stops improving, as indicated by an increase in the mean square error of the validation samples.

Train using Levenberg-Marquardt. (trainlm)

Train

Results

	Samples	MSE	R
Training:	157	-	-
Validation:	34	-	-
Testing:	34	-	-

Plot Fit Plot Error Histogram Plot Regression

Notes

Training multiple times will generate different results due to different initial conditions and sampling.

Mean Squared Error is the average squared difference between outputs and targets. Lower values are better. Zero means no error.

Regression R Values measure the correlation between outputs and targets. An R value of 1 means a close relationship, 0 a random relationship.

Train network, then click [Next].

Neural Network Start Welcome Back Next Cancel

## EK 17. Ağ değerlendirme sayfası

Neural Fitting (nftool)

### Evaluate Network

Optionally test network on more data, then decide if network performance is good enough.

Iterate for improved performance

Try training again if a first try did not generate good results or you require marginal improvement.

Train Again

Increase network size if retraining did not help.

Adjust Network Size

Not working? You may need to use a larger data set.

Import Larger Data Set

Optionally perform additional tests

Inputs: input

Targets: output

Samples are:  Matrix columns  Matrix rows

Inputs 'input' is a 225x35 matrix, representing static data: 225 samples of 35 elements.

Targets 'output' is a 225x1 matrix, representing static data: 225 samples of 1 element.

Test Network

MSE	3.46331e-2
R	9.55762e-1

Plot Fit Plot Error Histogram Plot Regression

Click an improvement button, plot, or click [Next].

Neural Network Start Welcome Back Next Cancel

## EK 18. Sonuç kayıt sayfası

Neural Fitting (nftool)

### Save Results

Generate MATLAB scripts, save results and generate diagrams.

Generate Scripts

**Recommended >>** Use these scripts to reproduce results and solve similar problems.

Generate a script to train and test a neural network as you just did with this tool:

Generate a script with additional options and example code:

Save Data to Workspace

- Save network to MATLAB network object named:
- Save performance and data set information to MATLAB struct named:
- Save outputs to MATLAB matrix named:
- Save errors to MATLAB matrix named:
- Save inputs to MATLAB matrix named:
- Save targets to MATLAB matrix named:
- Save ALL selected values above to MATLAB struct named:

Save results and click [Finish].

[Go on to the next step]

## KAYNAKLAR

- Balanis, C. 1989.** Advanced Engineering Electromagnetics (C. A. Balanis, Ed.), New York, : John Wiley & Sons, Inc.
- Balanis, C. 2007.** Advanced Engineering Electromagnetics By C. A. Balanis (C. A. Balanis, Ed.) (Vol. 136), Hoboken, : John Wiley & Sons, Inc. Retrieved from <http://www.wiley.com/go/permissions.%0AEvaluation>
- Ameen, J. J. H. 2014.** Reduction of Cell Phone Electromagnetic Radiation Effect on Human Body. *International Journal of Sciences*, 3(03):, 19–23. Retrieved from <https://www.ijsciences.com/pub/article/V320140313>
- Andrew Wireless Solutions 2008.** Base Station Antenna Systems. .
- Aniolczyk, H. 1999.** Electromagnetic Field Pattern In The Environment of GSM Base Station. *International Jouriuil of Occupational Medicine and Environmental Health*, 12(1):, 47–58.
- Anonim 2001.** Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları.
- Anonim 2016a.** Electromagnetism. .
- Anonim 2016b.** Radiofrequency and Health.
- Anonim 2016c.** The Final Book of The International Congress of Technology Addiction. , İstanbul, : , 1–380. <https://doi.org/978-975-93769-8-7>
- Anonim 2018.** Data linkage and cancer registries. ENCR Scientific Meeting and General Assembly : ENCR Scientific Meeting and General Assembly, Ed.: E. Commission (Ed.), Copenhagen, : European Union: , 1–124. <https://doi.org/JRC112936>
- Barclay, L. 2008.** Propagation of Radiowaves, Stevenage, : The Institution of Engineering and Technology. Retrieved from [www.theiet.org](http://www.theiet.org)
- Barclay, L. 2013.** Propagation of Radiowaves, London, : The Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/PBEW056E>
- BTK 2017.** Pazar Verileri Raporu, Ankara.
- Bükeyhan, P. 2017.** Sinop il merkezinin elektromanyetik alan kirlilik haritasının çıkarılması. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Çevre Sağlığı Anabilim Dalı, Sinop.
- Carlberg, M., Hedendahl, L., Koppel, T., Hardell, L. 2019.** High ambient radiofrequency radiation in Stockholm city, Sweden. *Oncology Letters*, 17(2):, 1777–1783. <https://doi.org/10.3892/ol.2018.9789>
- Çerezci, O., Kartal, Z., Pala, K., Türkkkan, A. 2012.** Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri. , Bursa, : , 1–133.
- Cevizli Erkan 2009.** GSM iletişimde RF Rdyason Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Dahlman, Erik, Parkvall, Stefan, Sköld, J. 2016.** 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G, London, : Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804575-6.01001-3>
- Dilek, B. 2014.** Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüs Alanının Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, RTEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Reza.
- Ely, S Y., Fuller, K., Gulson, A D., Judd, A D., Lowe, AJ., Shaw, J. 2016.** Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Cookridge Area of Leeds, England S. , 1–10.
- white, J. 2004.** High Frequency Techniques: An Introduction to RF and Microwave Engineering, New Jersey, : John Wiley & Sons, Inc. Retrieved from [www.copyright.com](http://www.copyright.com)

- Fernández-García, R., Gil, I. 2017.** Measurement of the environmental broadband electromagnetic waves in a mid-size European city. *Environmental Research*, 158:, 768–772. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.07.040>
- Gazete, R. 2004.** Elektromanyetik Uyumluluk Yönetmeliği. , , 1–6.
- Genç, Ö. 2010.** Radyo frekanslarında elektromanyetik kirliliğe gsm bandlarının etkisinin istatistiksel analizi. *Doktora Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Hardell, L., Mild, K. H., Carlberg, M. 2003.** Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *International journal of oncology*, 22(2):, 399–407. <https://doi.org/10.3892/ijo.22.2.399>
- Huang, Y., Boyle, K. 2008.** Antennas From Theory to Practice, West Sussex, : John Wiley & Sons, Inc.
- ICNIRP 1998.** Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic, And Electromagnetic Fields (Up To 300 Ghz). , , 1–30.
- IEEE 2005.** IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, New York, : the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- ILO 2013.** International labour standards - A global approach, Zurich, : International Labour Organization.
- ITU-R Recommendation, P. 123.-7. 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. , , 28. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.concog.2013.08.004>
- Griffiths, D. 1999.** Introduction to electrodynamics, New Jersey, : Prentice Hall.
- J.Swerdlow, A., Feychting, M., C.Green, A., Kheifets, L., A.Savitz, D. 2011.** Mobile phones, brain tumors, and the interphone study: Where are we now?. *Environmental Health Perspectives*, 119(11):, 1534–1538. <https://doi.org/10.1289/ehp.1103693>
- Keysan, A. 2015.** Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nin elektromanyetik alan haritası. *Yüksek Lisans Tezi*, BÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Kriesel, D. 2007.** A brief Introduction on Neural Networks, Boon. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(95\)92880-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(95)92880-4)
- Kurnaz, Ç., Bozkurt, M. 2016.** Measurement and Evaluation of Electromagnetic Pollution Levels in Ünye District of Ordu 2 . *Measurement of Electric Field Strength. Journal of Nwe Result in Science*, 12(1304–7981):, 149–158. Retrieved from <http://jnrs.gop.edu.tr>
- Kurnaz, Ç. 2016.** An Empirical Modeling of Electromagnetic Pollution on a University Campus. *Applied Computational Electromagnetics Society Newsletter*, 33(1):, 111–114.
- Sengupta, D., V. Liepa, M. 2006.** Applied and Electromagnetics and Electromagnetic Compatibility, New Jersey, : John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.zgesun.2008.01.004>
- Mansur, Y. 2014.** University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences Measurement of Electromagnetic Radiation Levels of Some Cellular Base Stations In Gaziantep. *M. Sc. Thesis*, Engineering of Physics, Graduate School of Natural & Applied Sciences, Gaziantep.
- Mousa, A. 2011.** Electromagnetic radiation measurements and safety issues of some cellular base stations in Nablus. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 4(1):, 35–42.

- Narda 2015.** Narda 3006 SRM Safety Test Solutions Manual , Germany.
- Odaci, E., Orhan, B., Kaplan, S. 2008.** Effects of prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field on the dentate gyrus of rats: A stereological and histopathological study. *Brain Research*, 1238:, 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.08.013>
- Osseiran, A., F.Monderrat, J., Marsch, P. 2016.** 5G-Mobile-and-Wireless-Communications-Technology.
- Özgümüş, B. 2010.** Zonguldak kent merkezinin 100 kHz - 3 GHz frekans bandında elektromanyetik kirliliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Polat, A. Ö. 2013.** Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesi'nin Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması. *Yüksek Lisans Tezi*, KMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.
- Rao Gottapu 2013.** Mobile Cellular Communication, New Delhi, : Pearson.
- Seybold, J. 2005.** Introduction to RF Propagation (Vol. 1), New Jersey, : John Wiley & Sons, Inc. [https://doi.org/10.4324/9780203465431\\_Introduction](https://doi.org/10.4324/9780203465431_Introduction)
- Sauter, M. 2011.** From GSM to LTE, West Sussex, : John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470978238>
- Sauter, M. 2017.** From-GSM-to-LTEAdvanced-Pro-and-5G-An-Introduction-to-Mobile-Networks-and-Mobile-Broadband, West Sussex, : John Wiley & Sons, Inc.
- Seyfi, L. 2013.** Measurement of electromagnetic radiation with respect to the hours and days of a week at 100kHz-3GHz frequency band in a turkish dwelling. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 46(9):, 3002–3009. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.06.021>
- Suzuki, K. 2011.** Artificial Neural Networks - Methodological Advances and Biomedical Applications, Rijeka, : InTech. Retrieved from [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- Syaza, S. K. F., Umar, R., Kamarudin, M., Sabri, N., Hassan, A. 2017.** Non-ionizing radiation as threat in daily life. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(308–316):, 1–10. Retrieved from <http://www.jfas.info>
- Rappaport, P. H. 2011.** Wireless Communications Principles and Practice (Vol. 91). Retrieved from [www.vsofts.net](http://www.vsofts.net)
- The MathWorks 2005.** Learning MatLab 7, The MathWorks, Inc. Retrieved from [www.mathworks.com/patents](http://www.mathworks.com/patents)
- Türedi, S., Hanci, H., Topal, Z., Ünal, D., Mercantepe, T., Bozkurt. I., Kaya, H., Odaci, E. 2015.** The effects of prenatal exposure to a 900-MHz electromagnetic field on the 21-day-old male rat heart. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 34(4):, 390–397. <https://doi.org/10.3109/15368378.2014.952742>
- Tuysuz, B., Mahmutoglu, Y. 2017.** Measurement and mapping of the GSM based electromagnetic pollution in the Black Sea region of Turkey. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 36(132–140):, 1–10. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/15368378.2016.1198801%0AMeasurement>
- WHO. World Health Organization. 2006.** Framework for developing health-based electromagnetic field standards. , Lyon, France., : World Health Organization: , 42. Retrieved from [http://www.who.int/peh-emf/standards/EMF\\_standards\\_framework\[1\].pdf?ua=1](http://www.who.int/peh-emf/standards/EMF_standards_framework[1].pdf?ua=1)
- wikipedia 2008.** Base station. .
- Yıldız, A. O.** Antenler ve Propagasyon. , 1–10.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Mohamedosman Abbaker Ibrahim  
Doğum Yeri ve Tarihi : Suudi Arabistan / 1988  
Yabancı Dil : Arapça, İngilizce, Türkçe

### Eğitim Durumu

Lise : Dar Althagafa Alahlyaa  
Lisans : University of Science & Technology

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

- Telekomünikasyon ve Posta Düzenleme Kurumu. 01/08/2012 — 31/08/2012
- Telekomünikasyon ve Posta Düzenleme Kurumu. 11/05/2014 — 11/05/2015
- Chadll Technology Telecom. 29/04/2015 — 29/07/2015

İletişim (e-posta) : eng.mustafa1988s@gmail.com

### Yayınları :

**Karpat 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)*.