

**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
MERKEZ KAMPÜS ALANININ
ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK HARİTASININ ÇIKARILMASI**

Burak DİLEK

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Nilüfer AS

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**


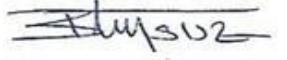

RİZE 2014

T.C.

**RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
MERKEZ KAMPÜS ALANININ
ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK HARİTASININ ÇIKARILMASI**

Bu çalışma, 11 / 07 / 2014 tarihinde yapılan sınav ile Fizik Anabilim Dalı'nda
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, Soyadı	İmzası
Tez Danışmanı	: Yrd. Doç. Dr. Nilüfer AS	
Jüri Üyesi	: Yrd. Doç. Dr. Burak TÜYSÜZ	
Jüri Üyesi	: Yrd. Doç. Dr. Vagıf NEVRUZOĞLU	



Prof. Dr. Selami ŞAŞMAZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programında hazırlanmıştır. Çalışmada Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüsü içerisinde elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri, belirlenen limit değer ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlardan yararlanılarak kampüs içerisindeki Elektromanyetik Kirlilik seviyelerindeki değişim kampüs haritası üzerinde gösterilmiştir.

Tez çalışmam süresince düşünceleriyle her aşamada bana yardımcı olan değerli danışmanım Yrd. Doç. Nilüfer As'a ve değerli hocalarım Öğr. Gör. Mustafa Ergin Şahin ve Öğr. Gör. Yasin Karan'a ve Yrd. Doç. Nilay Akçay'a ve Arş. Gör. Erkan Kırış'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmanın haritalama aşamasında yardımlarını esirgemeyen Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Ali Erdem Özçelik'e ve çalışmanın her aşamasında büyük emeği geçen Makine Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcısı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Uğur Akbulut'a çok teşekkür ederim.

Tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme çok teşekkür ederim.

Burak DİLEK

Rize 2014

ÖZET

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüs Alanının Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması

Günümüzde; hızla büyüyen teknoloji ile birlikte, elektromanyetik kirlilik ve onun zararlı etkileri de kontrolsüz bir şekilde artmaktadır. Hayatımızın bir parçası olan yeni teknoloji ürünleri, elektromanyetik kirliliğin ana nedeni haline gelmiştir. Uluslararası bilim kuruluşları ve toplulukları bu konuyu mercek altına almış, bu kapsamda sınır değerler ve standartlar oluşturulmuştur.

Bu tez çalışmasında, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüsü'ndeki elektromanyetik kirlilik incelenmiştir. Bu kapsamda, günün farklı saat dilimlerinde, 21 farklı noktada elektromanyetik kirlilik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler sırasında; 400 MHz -6 GHz bant aralığında çalışan kompakt bir spektrum analiz cihazı, SRM 3006 (Narda Safety Test Solutions GmbH, Germany), üç eksenli bir anten ile birlikte kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları, ICNIRP ve Bilgi Teknolojileri Kurumu tarafından ilan edilen standart değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elektromanyetik kirlilik oranı tehlikeli bir düzeyde bulunmamıştır.

Çalışmanın devamında, ölçülen güç yoğunluğu değerleri Surfer 8 programına girilmiştir. Bu veriler, yoğun elektromanyetik kirlilik bölgelerini belirlemek amacıyla, üniversite kampüs alanına ait sayısal harita ile birleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, radyasyondan kaynaklanan elektromanyetik kirlilik seviyesini temsil eden renkli bir harita elde edilmiştir. Ayrıca, elektromanyetik kirlilik seviyesinin diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu kampüs bölgeleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Alanlar, Ölçüm, Haritalama, SAR Değeri

SUMMARY

Electromagnetic Pollution Mapping of Recep Tayyip Erdogan University Central Campus

Today, along with rapidly growing technology, electromagnetic pollution and its harmful effects are increasing in an uncontrolled manner. New technology products that are parts of our lives have become the main cause of electromagnetic pollution. International scientific organizations and communities have taken this issue under the spotlight; in this context, the limit values and standards were established.

In this thesis, electromagnetic pollution in the Central Campus of Recep Tayyip Erdoğan University was examined. In this context, at certain times of the day, electromagnetic pollution measurements were taken at 21 different locations. During these measurements, a compact spectrum analyzer device (Narda Safety Test Solutions GmbH, Germany) working in the range of 400 MHz to 6 GHz band was used together with its three-axis antenna. The results of these measurements have been compared with the standard values, which were declared by the ICNIRP and Information Technology Authority. Electromagnetic pollution rate has not been found in a dangerous level.

In continuation of the study, the measured power density values were entered into the Surfer 8 software. The data showing the dense electromagnetic pollution regions were obtained. These data were combined with the digital map that belongs to the university campus area in order to identify the dense electromagnetic pollution regions. As the result of the study, a colored map that represents the level of the electromagnetic pollution caused by radiation has been generated. Also, risky campus regions in terms of electromagnetic pollution were detected.

Keywords: Elektromagnetic Fields(EMF), Measurement, Mapping, Sar Value

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR	vii
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Elektrik ve Manyetizma.....	2
1.3. Elektromanyetik Alan	3
1.3.1. Elektrik Alan.....	4
1.3.2. Manyetik Alan	5
1.3.3. Elektrodinamik (Elektromanyetik İndüksiyon)	6
1.3.4. Maxwell Denklemleri	7
1.4. Elektromanyetik Dalgalar	8
1.4.1. Elektromanyetik Dalga Denklemi	9
1.4.2. Elektromanyetik Enerji (Poynting Vektörü).....	9
1.5. Elektromanyetik Alan Ölçümlerinde Anten ve Anten Parametreleri	10
1.5.1. Anten Yönlülüğü, Kazancı ve Yayılım Deseni	10
1.5.2. Etkin İzotropik Yayılım Gücü (EIRP)	11
1.5.3. Etkin Yayılım Gücü (ERP).....	11
1.5.4. Uzak Alan ve Yakın Alan	11
1.5.5. Uzak Alan ve Yakın Alanların Özellikleri	12
1.6. Elektromanyetik Spektrumu	12
1.6.1. İyonlaştırmayan Radyasyon.....	13
1.6.1.1. IR Spektrum.....	13
1.6.1.2. Mikrodalga Spektrumu	14
1.6.1.3. Radyo Frekans Bölgesi	15
1.6.1.3.1. VLF.....	15

1.6.1.3.2. ELF	15
1.6.2. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	16
1.6.2.1. UV(Ultraviyole) Bölgesi.....	16
1.6.2.2. X-Işınları.....	16
1.6.2.3. Gama Işınları.....	17
1.7. Elektromanyetik Kirlilik ve Kaynakları	17
1.7.1. GSM sistemindeki RF kaynakları.....	18
1.8. Elektromanyetik Kirliliğin Biyolojik Etkileri.....	20
1.9. Sarı Değeri	24
1.10. İnsan Sağlığı İçin Sınır Değerler ve Uluslararası Kuruluşlar	25
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	28
2.1. Elektrik Alan Ölçümünde Kullanılan Cihaz.....	28
2.1.1. Cihazın Gösterge ve Kontrol Panelleri	30
2.1.2. Ölçüm Menziline Ayarlanması.....	32
2.1.3. Sonuç Tipinin Seçilmesi	32
2.1.3. Ölçüm Verilerinin ve Ekran Görüntülerinin Kaydedilmesi	33
2.2. Ölçüm Metodu	33
2.3. Haritalamada Kullanılan Yöntem ve Yazılım	35
3. BULGULAR	37
3.1. Elektromanyetik Alan Ölçüm ve Hesaplama Sonuçları.....	37
3.1. Ölçümler Sonucunda Elde Edilen Veriler	37
3.2. Ölçüm ve Hesaplama Sonuçlarının Grafikselleştirilmesi	48
3.3. Elde Edilen Elektromanyetik Kirlilik Haritası.....	50
4. TARTIŞMA ve SONUÇ	51
5. ÖNERİLER	53
6. KAYNAKLAR	55
7. EKLER	57
7.1. Ölçüm Yerlerinden Görüntüler	57
7.2. Sonuçları Yüksek Noktalardan Spektrum Örnekleri.....	59
7.2.1. Beşinci Nokta	59
7.2.2. Altıncı Nokta	60
7.2.3. On Altıncı Nokta	61
7.2.4. On Dokuzuncu Nokta.....	62

7.2.5. Yirmi Birinci Nokta	63
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Elektrik alan (E) ve Manyetik alan (H) gösterimi	8
Şekil 1. 2. Elektromanyetik spektrum.....	13
Şekil 1. 3. Uplink - Downlink.....	18
Şekil 1. 4. Tipik baz istasyonu tesisleri ve EM enerji yayılımı	19
Şekil 1. 5. ICNIRP sınır değerlerinin frekansla değişimi.	26
Şekil 2. 1. Narda SRM 3006 cihazı	28
Şekil 2. 2. SRM 3006 cihazında üç farklı görünüm.....	29
Şekil 2. 3. Narda SRM 3006 cihazı kontrol panelleri.....	30
Şekil 2. 4. RTEÜ Merkez Kampüsü uydu haritası.....	34
Şekil 2. 5. Ölçüm noktaları	34
Şekil 2. 9. Surfer 8 Yazılımı.....	35
Şekil 3. 1. Elektrik alanın ölçüm saatlerine göre değişimi	48
Şekil 3. 2. Manyetik alanın ölçüm saatlerine göre değişimi	48
Şekil 3. 3. Güç yoğunluğunun ölçüm saatlerine göre değişimi	49
Şekil 3. 4. R.T.E.Ü. Merkez Kampüs ölçüm noktaları	49
Şekil 3. 5. R.T.E.Ü. Merkez Kampüs elektromanyetik kirlilik haritası.....	50
Şekil 7. 1. Kampüs içinden bir bölge.....	57
Şekil 7. 2. Kampüs yakınındaki bazı vericilerin görünümü	57
Şekil 7. 3. Kampüs girişi.....	58
Şekil 7. 4. Ölçümlerimizden bir görüntü	58
Şekil 7. 5. Beşinci Nokta Spektrum 12.00 Cıvarı.....	59
Şekil 7. 6. Beşinci Nokta Spektrum 16.00 Cıvarı.....	59
Şekil 7. 7. Altıncı Nokta Spektrum 14.00 Cıvarı.....	60
Şekil 7. 8. Altıncı Nokta Spektrum 18.30 Cıvarı.....	60
Şekil 7. 9. On Altıncı Nokta Spektrum 12.00 Cıvarı.....	61
Şekil 7. 10. On Altıncı Nokta Spektrum 16.00 Cıvarı.....	61
Şekil 7. 11. On Dokuzuncu Nokta Spektrum 12.00 Cıvarı	62
Şekil 7. 12. On Dokuzuncu Nokta Spektrum 16.00 Cıvarı	62
Şekil 7. 13. Yirmi Birinci Nokta Spektrum 14.00 Cıvarı	63
Şekil 7. 14. Yirmi Birinci Nokta Spektrum 18.30 Cıvarı	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1. Elektromanyetizmanın Temel Yasaları ve Maxwell denklemleri.	7
Çizelge 1. 2. Ortam ve tek bir cihaz için limit değerler	20
Çizelge 1. 3. Ev aletleri ve tipik manyetik alanlar (miliGauss cinsinden)	21
Çizelge 1. 4. GSM 900 MHz ve 1800 MHz için Uluslararası Sınır Değerleri	26
Çizelge 2. 1. Cihaz tuşlarının işlevi	30
Çizelge 2. 2. Sonuç Tipleri.....	33
Çizelge 3. 1. Elde edilen veriler – 1.Nokta	37
Çizelge 3. 2. Elde edilen veriler – 2.Nokta	38
Çizelge 3. 3. Elde edilen veriler – 3.Nokta	38
Çizelge 3. 4. Elde edilen veriler – 4.Nokta	39
Çizelge 3. 5. Elde edilen veriler – 5.Nokta	39
Çizelge 3. 6. Elde edilen veriler – 6.Nokta	40
Çizelge 3. 7. Elde edilen veriler – 7.Nokta	40
Çizelge 3. 8. Elde edilen veriler – 8.Nokta	41
Çizelge 3. 9. Elde edilen veriler – 9.Nokta	41
Çizelge 3. 10. Elde edilen veriler – 10.Nokta	42
Çizelge 3. 11. Elde edilen veriler – 11.Nokta	42
Çizelge 3. 12. Elde edilen veriler – 12.Nokta	43
Çizelge 3. 13. Elde edilen veriler – 13.Nokta	43
Çizelge 3. 14. Elde edilen veriler – 14.Nokta	44
Çizelge 3. 15. Elde edilen veriler – 15.Nokta	44
Çizelge 3. 16. Elde edilen veriler – 16.Nokta	45
Çizelge 3. 17. Elde edilen veriler – 17.Nokta	45
Çizelge 3. 18. Elde edilen veriler – 18.Nokta	46
Çizelge 3. 19. Elde edilen veriler – 19.Nokta	46
Çizelge 3. 20. Elde edilen veriler – 20.Nokta	47
Çizelge 3. 21. Elde edilen veriler – 21.Nokta	47
Çizelge 3. 22. Haritalamada kullanılan S_{ort} değerleri ve GPS verileri.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

eV	:	Elektron volt
U	:	Enerji
E	:	Elektrik alan şiddeti (V/m)
H	:	Manyetik alan şiddeti (A/m)
B	:	Manyetik akı yoğunluğu (Wb/m ²)
S	:	Güç yoğunluğu (W/m ²)
f	:	Frekans

Kısaltmalar

RF	:	Radyo frekans
EM	:	Elektromanyetik
EMI	:	Elektromanyetik girişim
EMC	:	Elektromanyetik uyumluluk
BTS	:	Baz istasyonu
ERP	:	Etkin yayılım gücü
SAR	:	Özgül soğurma oranı (W/kg)
EMF	:	Elektromanyetik alan
AVRG	:	Ortalama
Max. Inst.	:	Maksimum anlık değer
EMR	:	Elektromanyetik radyasyon
ELF	:	Çok düşük frekans
ICNIRP	:	Uluslararası iyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu
IEEE	:	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
FCC	:	Federal Komünikasyon Komisyonu
WHO	:	Dünya Sağlık Örgütü
ILO	:	Dünya Çalışma Örgütü

- BTK** : Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kablosuz haberleşmenin ilk adımları 1820'lerde Oersted, Faraday, Maxwell, Gauss ve Hertz tarafından atılmıştır. Oersted' in elektrik akımının bir manyetik alan yarattığını göstermesini takiben, Faraday manyetik alanda değişimlerin elektrik alan ve manyetik bir akım yarattığını bulmuştur. Maxwell' in 1865 yılında elektromanyetik alanın oluşumunu formüle edişi literatüre önemli bir katkı yapmıştır. Hertz' in yapmış olduğu çalışmalar 1877 yılında Maxwell teorisinin yeniden kanıtlanması ile sonuçlanmıştır. Haberleşmenin gelişmesinin öncülerden biri de 1895 yılında radyo sinyallerini 2 km mesafeye iletmeyi başaran Marconi'dir(Morgül, 2000). Marconi ayrıca, 1901 yılında Cornwall'da (İngiltere) 1700 mil uzağa radyo sinyallerini yollayarak büyük bir teknolojik gelişim sağlamıştır.

Haberleşmenin önce uzun dalga radyo yayınları ile başladığı ve daha sonra da yayın alanlarının genişletilmesine çalışıldığı söylenebilir. 1920'de genlik modülasyonlu ilk yayın başlamış, 1933'de ise Armstrong tarafından Frekans modülasyonunun keşfedilmesi ile FM yayına geçilmiştir. Ancak II. Dünya Savaşı'na kadar AM yayınlar FM'e göre daha popüler olmayı sürdürmüştür, II. Dünya Savaşı'ndan sonra hızla FM yayın artmaya başlamıştır (Morgül, 2000).

Toplumlar üzerindeki etkisi göz ardı edilemeyecek kadar büyük olan radyo ve televizyon yayınları elektromanyetik dalgaların yayılımı sayesinde gerçekleşmektedir. Çağımızın sanayi-kent toplumu koşullarında toplumlar arasındaki iletişim büyük ölçüde kitle iletişim araçlarıyla sağlanmaktadır. Bu araçların en önemlileri arasında radyo ve televizyon sayılabilir. Radyo ve televizyon sadece teknolojik birer araç değil, toplumu değiştirme ve geliştirme sürecinde yaygın olarak kullanılmasından dolayı diğer iletişim araçlarına göre daha etkilidir. Bu yönüyle sosyal kimliğin şekillenmesinde çok önemli bir rol oynar.

Günümüzde haberleşme ve bilişim teknolojileri bir bütün haline gelmiştir ve hızlı bir gelişim göstermektedir. Son yıllarda hayatımıza karşı konulmaz bir hızla giren birçok yeni kavram ve cihaz mevcuttur. Hepimizin kullandığı WLAN(Kablosuz Yerel Alan Ağları), bluetooth, MMS, SMS, Video Call gibi ibareler bunlardan bazılarıdır. GSM kullanımı ise yüksek seviyelere ulaşmış durumdadır(Morgül, 2000). Bunlar gibi hayatı kolaylaştıran ve evimizde günlük ihtiyaçlarımız için kullandığımız birçok elektrikli alet içinde bulunduğumuz her ortamda var olan EMF'nin (Elektromanyetik

Alan) etkilerini artırmaktadır. Örneğin gündelik yaşantımızda karşılaştığımız bilgisayarların FM dalga radyo yayınlarını bozması, elektrik süpürgesi ve saç kurutma makinelerinin televizyon ve radyolarda cızırtılara neden olması gibi olaylar ortamdaki elektromanyetik alanın etkilerinin değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Çevre kirliliğinin birçok sebebinin olduğu günümüzde elektromanyetik kirlilik konusunda da tartışmalara fazlasıyla yer verilmektedir. Günlük yaşantımızda sürekli maruz kaldığımız elektromanyetik kirlilik doğanın bize sağladığı dengeli sistemi bozmaktadır. Hayatımızı kolaylaştıran tüm aletler (iş yerimizdeki kablolu ve kablosuz ağlar evimizde radyo, televizyon, bilgisayar, mikrodalga fırın vb.) farklı ölçülerde elektromanyetik kirliliğe yol açmaktadır. Sayıları hızla artan TV, radyo ve baz istasyonlarının oluşturduğu elektromanyetik alanlar insan sinir sistemine büyük ölçüde hasar vermektedir. Ayrıca radyasyonun uzun vadede görülen etkileri daha ağırdır (Bold vd., 2003). Teknoloji de bir ilaç gibidir, ihtiyaçlarımızı karşılarken yan etkilerini beraberinde getirir. Bugün radyasyondan etkilenmemek için teknolojiyi yok saymak ve kullanmamak mümkün olmadığına göre en uygun çözüm teknolojinin getirmiş olduğu yan etkileri en aza indirmektir.

1.2. Elektrik ve Manyetizma

Elektrik, serbest ortamda bulunan "özgür elektronların" çekim alanı yaratılarak bir noktaya doğru toplanması sonucunda oluşan enerji biçimidir. Bu serbest elektronları herhangi bir atoma esir olmuş elektronlarla karıştırmamak gerekir. Herhangi bir çekim alanı yaratabilecek düzenele özgür elektronların, oluşturulan çekim alanına çekilmesi ve sıraya dizilmesi ile elektrik akımı oluşur. Akımlar "Doğru Akım" (DC) ve "Alternatif Akım" (AC) olarak ikiye ayrılır;

Doğru Akım (DC), Zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değişmeyen akıma denir. Doğru akım genelde elektronik devrelerde kullanılır. En ideal doğru akım en sabit olanıdır. En sabit doğru akım kaynakları da pillerdir (Griffiths, 2003).

Alternatif Akım (AC), Zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değişen akıma denir. Alternatif akım büyük elektrik devrelerinde ve yüksek güçlü elektrik motorlarında kullanılır. Evlerimizdeki elektrik alternatif akım sınıfına girer. Buzdolabı, çamaşır makinesi bulaşık makinesi, klima ve vantilatörler doğrudan alternatif akımla çalışırlar. Televizyon, müzik seti ve video gibi cihazlar ise bu alternatif akımı doğru akıma çevirerek kullanırlar (Griffiths, 2003).

Manyetizma, mıknatıslanmış maddelere ilişkin özelliklerin tümünü ve mıknatısların özelliklerini, inceleyen bir fizik dalıdır. Bu terimin kökeni, Türkiye'de, Aydın yakınlarında kurulmuş olan ve manyetit (mıknatıs taşı) mineralinin ilk bulunduğu yer olarak tanınan, antik Magnesia (Manisa) kentine dayanır.

Bilim adamı William Gilbert, De Magnete adlı eserinde (1600), elektrik ve manyetizmayı her ikisi de maddelerin itilmesi ve çekilmesine sebep olabilen farklı etkiler olarak açıklamıştır. Klasik elektromanyetizma olarak bilinen elektromanyetizma teorisi, 19. yüzyıl boyunca çeşitli fizikçiler tarafından geliştirilmiş; önceki gelişmeleri tek bir teoriye toplayan ve ışığın elektromanyetik doğasını keşfeden James Clerk Maxwell 'in çalışmalarıyla sonuç bulmuştur. Klasik elektromanyetizmada, elektromanyetik alan; Maxwell denklemleri olarak bilinen bir dizi denkleme uymakta ve elektromanyetik kuvveti, Lorentz kuvvet yasası vermektedir.

Lorentz kuvveti, elektromıknatıssal alanlar tarafından hareketli bir noktasal yüke etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet matematiksel olarak, elektrik ve mıknatıssal alanlar cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1.1)$$

F: Kuvvet (newton)

E: Elektrik alan (volt/metre)

B: Manyetik alan (tesla)

q: Parçacığın elektriksel yükü (coulomb)

v: Parçacığın hızı (metre/saniye)

Klasik elektromanyetizmanın özelliklerinden biri, klasik mekanik ile bağdaştırılmasının zor; ancak, özel görelilik ile bağdaştırılabilir olmasıdır. Maxwell denklemlerine göre, bir vakum içindeki ışık hızı, evrensel bir sabittir. Bu sabit sadece serbest uzayın elektriksel ve manyetik geçirgenliğine bağlıdır. Hendrik Lorentz'in ve Henri Poincaré'in önemli katkılarından sonra, 1905 yılında klasik kinematikleri, klasik elektromanyetizmaya uyumlu yeni bir kinematik teorisiyle değiştiren özel görelilik tanımıyla Albert Einstein tarafından bu problem çözülmüştür.

Ayrıca görelilik teorisi bize hareketli referans sistemlerinde manyetik alan bileşeninin sıfırdan farklı elektrik alan, elektrik alan bileşeni de sıfırdan farklı manyetik

alan oluşturduğunu göstermiştir. Yani manyetik alan ve elektrik alan bir parçanın iki farklı yüzü gibi düşünülebilir.

1.3. Elektromanyetik Alan

Zamana göre değişen bir elektrik alan (mesela hareketli bir yüklü parçacık nedeniyle) yerel manyetik alana sebep olur. Bu, elektrik ve manyetik alanların birbirinden bağımsız olmadığını gösterir; bir gözlemcinin yalnızca elektrik alan olarak gözlemlediğini başka bir referansa göre başka bir gözlemci bir elektrik ve manyetik alan karışımı olarak gözlemleyebilir. Bu nedenle elektrik ve manyetik alanlardan ayrı ayrı bahsetmek yerine bu ikisi “elektromanyetik alan” olarak birlikte incelenir.

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

Elektromanyetik alanların çok geniş bir frekans aralığı vardır. Bu aralık; alçak frekanslı enerji iletim hatlarından, radyo ve görülebilir ışık frekanslarına ve boyu bir metrenin trilyonda biri ile ifade edilecek kadar kısa dalga boyuna sahip çok yüksek frekanslı tıbbi x-ışınlarına kadar değişmektedir. Elektromanyetik alan elektrik ve manyetik alan olmak üzere birbirine dik titreşen iki bileşenden oluşmaktadır.

Burada, elektrik dalgası ve manyetik dalga ışık hızında birlikte yer değiştirirler. Elektromanyetik alanların belirgin özelliği frekansları ve dalga boylarıdır. “Frekans”, dalganın bir saniyedeki titreşim (salınım) sayısıdır ve birimi Hertz (Hz) dir. Dalga uzunluğu ise bir titreşim sırasında dalganın katettiği mesafedir ve metre(m) birimindedir. Frekans yükseldikçe dalga boyu kısalır ve alanda yayılan enerji yükselir.

1.3.1. Elektrik Alan

Elektrik alan, elektriksel yükü veya manyetik alanı çevreleyen uzayın bir özelliği olup, içerisinde bulunan yüklü nesnelere elektriksel güç aracılığı ile etki eder. Bu kavram fiziğe Michael Faraday tarafından kazandırılmıştır. Elektrik alan “E” ile gösterilir, birimi Volt/metre (V/m)’ dir. Elektrik akı yoğunluğu (D) ve malzemenin

elektriksel geçirgenliğine (ϵ) bağılıdır. Bu ilişki aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$\mathbf{E} = \mathbf{D}/\epsilon \quad (1.1)$$

Burada akı yoğunluğu vektörü D ile gösterilir, elektrik alan vektörü ile aynı yöne sahiptir ve şiddeti elektrik alanı oluşturan yük ile orantılıdır. Elektrik akı yoğunluğunun birimi Coulomb/metrekaire (C/m^2)'dir. Elektriksel geçirgenlik ise bir malzeme içinde sınırlanmış yüklerin sayısının bir ölçütüdür. Elektriksel geçirgenlik “ ϵ ” ile gösterilir. Birimi Farad/metre (F/m)'dir. Elektriksel geçirgenlik, serbest uzayın elektriksel geçirgenliği (ϵ_0) ve malzemenin dielektrik sabiti olarak ifade edilen (ϵ_r) nin çarpımına eşittir ve bu eşitlik aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir(Griffiths, 2003)

$$\epsilon_r = 10^{-9}/36\pi = 8.854 \times 10^{-12} (F/m) \quad (1.2)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (1.3)$$

1.3.2. Manyetik Alan

Manyetik alan hareket eden elektrik yükleri tarafından, zamanla değişen elektrik alanlardan veya temel parçacıklar tarafından içsel olarak üretilen vektörel büyüklüktür. Manyetik alan, elektrik yükleri yer değiştirdiğinde ortaya çıkar. Akım ne kadar yüksekse, bunun bir sonucu olan manyetik alan da o kadar yüksek olur. Elektrik alanda olduğu gibi, manyetik alan şiddeti de mesafe ile hızla azalır. Buna karşın, manyetik alan, elektrik alanında olduğu gibi engel teşkil eden nesnelere neredeyse hiç engellenmez.

Kısaca Manyetik alan, düzgün doğrusal (ivmesiz) hareket eden yüklerin (parçacıkların) oluşturduğu alana denir. Manyetik alan da elektrik alan gibi vektörel (büyüklüğü ve yönü olan) bir niceliktir. Manyetik alan “ H ” ile gösterilir ve birimi Amper/metre (A/m)'dir. Manyetik akı yoğunluğuna (B) ve malzemenin manyetik geçirgenliğe (μ) bağılıdır. Bu ilişki aşağıdaki gibi ifade edilmektedir(Griffiths, 2003).

$$\mathbf{H} = \mathbf{B}/\mu \quad (1.4)$$

Burada B ile gösterilen Manyetik akı yoğunluğunun birimi Tesla (T) veya Weber/metre-kare (Wb/m^2) olarak ifade edilir. SI birim sisteminde manyetik akı yoğunluğu Tesla olarak kullanılır. Buna göre; $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$ dir. Manyetik geçirgenlik ise “ μ ” ile gösterilir. Malzemenin cinsine bağlı olup birimi Henry/metre (H/m)’dir. Manyetik geçirgenlik, bağıl manyetik geçirgenlik (μ_r) ve serbest uzayın manyetik geçirgenliği (μ_0) cinsinden ifade edilir. Ayrıca serbest uzayın bağıl manyetik geçirgenliği 1’dir. Serbest uzayın manyetik geçirgenliği;

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (H/m)} \quad (1.5)$$

olup, herhangi bir malzemeye ait manyetik geçirgenlik değeri;

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad (1.6)$$

şeklinde hesaplanır.

1.3.3. Elektrodinamik (Elektromanyetik İndüksiyon)

1820 yılında Danimarkalı Fizikçi Hans Christian Oersted, elektrik akımının bir manyetik alan ürettiğini keşfetmiştir. Yapılan deneyler. “eğer elektrik akımı manyetik alan üretiyorsa, manyetik alan da akım üretir mi?” sorusuna cevap verme çalışmaları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu sorunun cevabını arayan Michael FARADAY ve Joseph HENRY başarılı olmuşlardır.

Bir manyetik alan içinde bir elektrik yüküne etkiyen kuvvet, yükün hızıyla orantılıdır. Manyetik alan ne kadar kuvvetli olursa olsun, eğer yük duruyorsa, yük üzerine etkiyen kuvvet sıfır olacaktır. Böylece; manyetik alan içindeki bir telden bir akım elde etmek isteniyorsa, teli hareket ettirmek gerektiği sonucuna ulaşılır (Bold vd., 2001).

İndüksiyon akımı oluşturmak için basit bir düzenek oluşturulabilir. Bunda iki seri düzenek vardır. İkinci devre ile seri bağlı birinci düzenekte bir üreteç, bir anahtar ve üzerinde uzun tel sarılmış yumuşak bir tel vardır. Bu bölüme üreteç bağlı olduğu için birincil bobin denir. İkincil bobin birincilden bağımsız ve çubuğun etrafına sarılmıştır

ve uçlarına bir galvanometre bağlanmıştır. Herhangi bir üreteç yokken bağlantısı olmayan bu devreye ikincil bobin denir.

İkinci devrenin herhangi bir üreteçle bağlantısı olmadığından, bu devreden herhangi bir akım geçmeyeceği düşünülebilir. Fakat birincil bobindeki anahtar açılıp kapatıldığında ikincil bobine bağlı galvanometrede bir sapma olduğu görülecektir. Bu sapma çok kısa sürelidir ve tekrar sıfıra döner. Yani, ikincil bobinde çok küçük bir akım indüklenir.

Meydana gelen bu indüksiyon ve emk nin diğer bir özelliği de, indüklenen bu kısa akımın, anahtar kapatılırken ve açılırken zıt yönlerde meydana gelmesidir. Buna göre, indüksiyon emk nin yönünün birincil bobindeki akımın artma ve azalmasına bağlı olduğu söylenebilir.

1.3.4. Maxwell Denklemleri

Maxwell'in yaptığı çalışmalar sonucunda elde ettiği denklemler elektromanyetik teoremin dolayısıyla haberleşmenin önünü açmıştır. James Clerk Maxwell'in formüle etmesi nedeniyle Maxwell denklemleri olarak bilinen bu denklemler, herhangi bir dielektrik ve manyetik malzemenin olmadığı ortamda, yani serbest uzayda aşağıda verilen denklemlerle ifade edilir(Griffiths, 2003).

Çizelge 1.1. Elektromanyetizmanın Temel Yasaları ve Maxwell Denklemleri

Maxwell Denklemleri'nin Diferansiyel Formu	Maxwell Denklemleri'nin İntegral Formu
1- $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	1- $\oint \vec{D} \cdot d\vec{s} = \int_v \rho_v \cdot dv$
2- $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	2- $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s}$
3- $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	3- $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$
4- $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left[\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right]$	4- $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_s \left[\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right] \cdot d\vec{s}$

1. Gauss Yasası, herhangi kapalı bir yüzeyden geçen toplam elektrik akısının bu yüzey içindeki net yükün bölümüne eşit olduğunu ifade eder.
2. Faraday Yasası, değişen bir manyetik alanın oluşturduğu elektrik alanını tanımlar.

3. Manyetik Gauss Yasası, kapalı bir yüzeyden geçen net manyetik akının sıfır olduğunu belirtir.
4. Ampère Yasası, değişen elektrik alanı ve elektrik akımları tarafından oluşturulan manyetik alanın oluşumunu tanımlar.

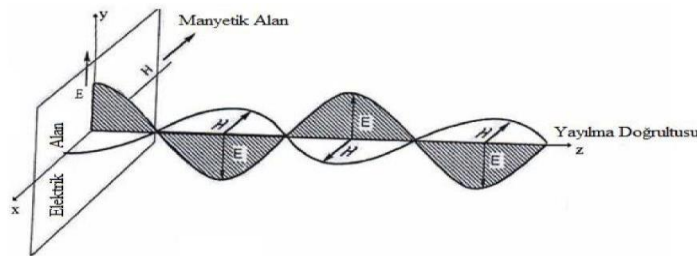
Elektromanyetik teori, elektrik ve manyetik kökenli etkileşimleri birleştirerek elektromanyetik etkileşme adının verildiği ve bu etkileşmeyi içeren olayları inceleyen ve 1894’de James Clerk Maxwell’ in geliştirdiği bilim dalıdır. 19. yüzyıla değin ayrı bir bilim dalı olan optik, ışığın bir elektromanyetik dalga olduğu kanıtlanınca, elektromanyetik teorenin kapsamına girmiştir (Bold vd., 2001).

1.4. Elektromanyetik Dalgalar

Işıma (radyasyon), enerjinin dalga ya da parçacık biçiminde uzayda yayılması durumudur. Elektromanyetik ışımaya ise elektrik alan ve manyetik alan dalgalarının uzayda beraber ilerlemesidir. Işımalar dalga boylarıyla ya da frekanslarıyla tanımlanırlar. Frekans eksenindeki tüm elektromanyetik dalga türlerini bir arada gösteren çizelge elektromanyetik tayf’tır. Elektromanyetik tayfin bir ucunda yüksek enerjili Gamma ışınları, hemen altında yüksek enerjili x-ışınları, tayfin diğer ucunda da “aşırı düşük frekanslı” alanlar yer alır

Elektromanyetik alan, Elektrik alan ve Manyetik alan' dan meydana gelir. Yüklü parçacıkların diğer yüklü parçacıklar üzerinde kuvvet uygulamasıdır.

Elektrik ve manyetik alanların özellikleri birbirlerinden farklı olup, canlı üzerindeki etkileri de farklıdır. Manyetik alanların etki alanlarının daha geniş olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayımın nedenlerinden birisi de elektrik alanlarının duvarlardan geçememesi, insan derisinden geçerken şiddetini kaybetmesi, manyetik alanların ise özel birtakım maddeler dışında sınır tanımamasıdır (Özdemir, 2001).



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

1.4.1. Elektromanyetik Dalga Denklemi

Elektromanyetik dalga denklemi, elektromanyetik dalgaların ortam boyunca ya da bir vakum ortamı içerisinde yayılmasını açıklayan, ikinci dereceden kısmi diferansiyel denklemdir. Denklem, ya elektrik alanı E ya da manyetik alan B cinsinden yazılan homojen formu şöyledir:

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t^2}\right) \mathbf{E} = \left(\nabla^2 - \mu\epsilon \frac{\partial}{\partial t^2}\right) \mathbf{E} = 0 \quad (1.7)$$

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t^2}\right) \mathbf{B} = \left(\nabla^2 - \mu\epsilon \frac{\partial}{\partial t^2}\right) \mathbf{B} = 0 \quad (1.8)$$

burada;

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (1.9)$$

1.4.2. Elektromanyetik Enerji (Poynting Vektörü)

Çevremizde sürekli var olan geniş bir dalga boyu aralığını kapsayan, ısı, ışık, parçacık gibi dalga ve radyoaktivite özelliklerine sahip elektromanyetik dalgalar bir enerji taşırlar ve uzayda yayılırken karşılaştıkları cisimlere enerji aktarırlar.

Elektromanyetik enerji, uzayda elektrik ve manyetik alanlar tarafından taşınır. Yüklü bir partikülün ivmeli hareketi elektromanyetik enerji kaynağını oluşturur. Elektromanyetik enerjinin hem dalga hem de partikül olmak üzere çift karakteristiği mevcuttur. Dalga sinüs dalgası özelliğinde olup frekansı ve dalga boyu bulunur.

Bir elektromanyetik dalgadaki enerji akış hızı poynting vektörü ile tanımlanır. Poynting vektörü “ S ” ile ifade edilir ve birimi $J/s.m^2$ ’dir. Poynting vektörünün büyüklüğü, akış yönüne dik olan birim yüzeyden, enerjinin geçiş hızını ifade etmektedir. Bu nedenle poynting vektörünün büyüklüğü, birim yüzey başına gücü ifade eder. S vektörünün yönü, dalganın yayılma doğrultusu boyuncadır.

Güç akı yoğunluğu olarak da ifade edilen Poynting vektörü, elektrik ve manyetik alan şiddetine bağlı olarak şu şekilde ifade edilir;

$$S = E.H = E^2/377 \quad (1.10)$$

Denklem (1.10) da ifade edilen 377 skaler değeri boşluğun direnci olarak tanımlanır ve elektromanyetik dalganın boşlukta yayılmasına karşı gösterilen dirençtir. Bir başka deyişle dalga empedansı veya serbest uzay empedansı olarak adlandırılır. Dalga empedansı “ η ” ile gösterilir ve birimi ohm (Ω)’dur. Serbest uzayın bağıl manyetik geçirgenliği ve bağıl dielektrik katsayısı 1 olduğu için, dalga empedansı;

$$\eta = \eta_0 = (\mu_0/\epsilon_0)^{1/2} = 120\pi = 377 \Omega \quad (1.11)$$

şeklinde ifade edilir.

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

1.5. Elektromanyetik Alan Ölçümlerinde Anten ve Anten Parametreleri

Anten, elektrik sinyallerini elektromanyetik dalgalara veya elektromanyetik dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürerek göndermeye ve almaya yarayan pasif elemandır. Aynı zamanda verici gücünün yayılım ortamına aktarılmasını sağlayan özel düzeneklerdir (Özdemir, 2001). Antenlerin elektronik haberleşme ve fiziksel çözüm açısından önemli parametreleri şunlardır:

- Anten Yönlülüğü, Kazancı ve Yayılım Deseni
- Etkin İzotropik Yayılım Gücü (EIRP)
- Etkin Yayılım Gücü (ERP)
- Anten Faktörü
- Uzak Alan ve Yakın Alan

1.5.1. Anten Yönlülüğü, Kazancı ve Yayılım Deseni

Anten yönlülüğü; elektromanyetik enerjiyi uzayda kendinden eşit uzaklıktaki noktalara eşit olarak yayan ya da noktalardan eşit olarak alan antenlere yönsüz anten denir. Genelde elektronik haberleşme sistemlerinde kullanılan antenler yönlüdür ve elektromanyetik enerjiyi belirli bir yönde diğer yönler göre daha etkin olarak yayar ya da alırlar.

Anten kazancı; Yönlü bir antenin bir noktadaki güç yoğunluğunun aynı güçle beslenen yönsüz antenin aynı noktadaki güç yoğunluğuna oranı, yönlü antenin o noktadaki kazancı olarak tanımlanır. Anten kazancı, antenin ne oranda yönlendirilmiş olduğunun bir göstergesidir (Özdemir, 2001).

Anten yayılım deseni; EM dalgaların yayınlandığı antenlerin yayılım deseni, ortama yayılan enerjinin uzaysal dağılımını belirler. Yönlü antenin yayılım deseni, ana yayılım yönünde diğer yönler göre kazancı ölçüsünde daha çok enerji yoğunlaştırır ve maruziyet açısından asıl etkisinin bu yönde araştırılması gerekir. 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 için, yönlülük ve kazanç özellikleri yüksek olan antenler kullanılmasına ihtiyaç vardır.

1.5.2. Etkin izotropik yayılım gücü (Effective izotropic radiative power) (EIRP)

İzotropik anten, bütün yönlerde hep aynı şekilde birim kazanç ile güç yayan ideal bir antendir. Çoğunlukla telsiz sistemlerde anten kazancından söz edilirken kullanılır. Nokta bir kaynaktan 360° açıda bütün yönler eşit oranda ısıma olduğunda eşit olarak her yönde dağılan güç, etkin izotropik yayılım gücü (EIRP) olarak tanımlanır.

1.5.3. Etkin yayılım gücü (ERP)

Yarım dalga dipol anten kullanıldığında maksimum yayılım gücünü belirtmek için etkin izotropik yayılım gücünün (EIRP) yerine kullanılır. Havadaki elektrik alan şiddet değerinin spektrum analizör girişinde oluşan potansiyel farkına oranıdır (Özdemir, 2001).

1.5.4. Uzak alan ve Yakın Alan

Antenlerin maksimum ışıma doğrultuları, kazançları ve desenleri fiziksel yapılarına bağlı olarak frekansla değişim gösterirler. Verici anteninde oluşturulan elektromanyetik enerjinin yayılım ortamına aktarılması ve iletilmesi sırasında, anten ve yayılım ortamının iki ayrı iletkenlik değerine sahip olması nedeniyle verici anteninden

itibaren dışa doğru bir süreksizlik veya geçiş bölgesi söz konusudur. Uzaklığı yayın yapan kaynağa $2D^2/\lambda$ kadar olan bu alan yakın alan olarak ifade edilir. Bu yüzden yakın alan mesafesi aşağıdaki eşitlikte tanımlanmıştır.

$$\text{Yakın Alan Mesafesi} = 2D^2/\lambda \quad (1.12)$$

D =Anten boyutu , λ =Dalga boyu

Elektromanyetik dalganın, düzlem dalga özelliği gösterdiği ve antenden $2D^2/\lambda$ 'dan daha uzak olduğu mesafe de uzak alan olarak ifade edilir. (Narda, 2009).

Bu değerden uzak olan noktalarda yapılan ölçümlerde, sadece elektrik alan bileşenin ölçülmesi yeterlidir. Elektromanyetik dalganın manyetik alan şiddeti H (A/m) uzak alanda aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesap edilir.

$$E/H=377 \quad (1.13)$$

1.5.5. Uzak ve Yakın alanların özellikleri

Yakın alanda elektrik ve manyetik alanların oranı sabit değildir. Özellikle antenin yakın çevresinde elektrik veya manyetik alanların yoğunlukları fazladır. Bu sebeple E ve H bileşenlerini birbirinden ayırarak ölçmeliyiz.

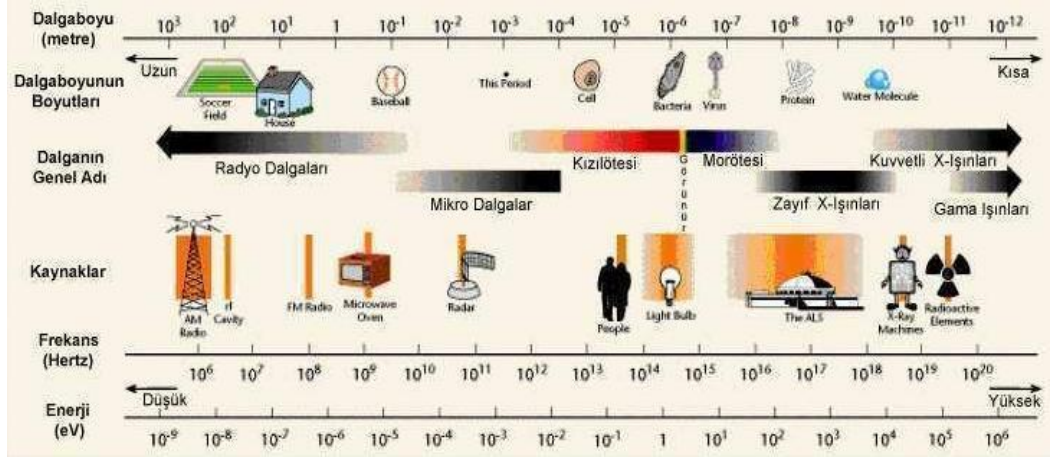
Artan mesafelerde, elektrik ve manyetik alanların yoğunluğu azalmış olup büyüklükleri oranı sabit bir değere doğru yönelmektedir(Narda, 2009).

1.6. Elektromanyetik Spektrum

Çevremizdeki ortamda devamlı mevcut olan enerji, tek bir enerji şekli olmayıp kesintisiz geniş bir enerji spektrumunu kapsar. Şekil 1.2 de görüldüğü gibi yelpazenin dar bir kısmını oluşturan ısı ve görünür ışık insan duyu organlarınca algılanabilir. Yelpazenin daha geniş kısmını yapan radyo, televizyon, radar dalgaları, infrared radyasyon, ultraviole radyasyon ve değişik enerjilere sahip x-ışınları ise duyu organları ile algılanamazlar.

X-ışınları, görünür ışık ve radyo dalgaları diagnostik radyolojide görüntü oluşturmak için kullanılan elektromanyetik enerjilerdir.

Elektromanyetik enerji yelpazesinde yer alan enerjilerin frekansı 10 - 10^{24} Hz, dalga boyları ise 10^7 - 10^{-16} arasında değişir.



Şekil 1.2. Elektromanyetik spectrum (URL-2, 2013)

Literatürdeki genel kabule göre RF spektrum; 300 GHz değerinden bölünmüş, 300 GHz'in altındaki RF dalgalar iyonlaştırmayan (non-ionizing), üzerindeki de iyonlaştıran (ionizing) olarak tanımlanmıştır.

1.6.1. İyonlaştırmayan Radyasyon Bölgeleri

Üç gruptur(Güler ve Çobanoğlu, 1994):

1.6.1.1. IR (İnfrared) Bölgesi

1mm'den görünür ışığın en uzun dalga boyu olan $7 \cdot 10^{-7}$ m'ye kadar değişen dalga boylarına sahiptirler. Sıcak cisimler ve moleküller tarafından oluşturulan bu dalgalar, çoğu maddelerce kolaylıkla soğurulurlar. Atomlar tarafından emildiklerinde maddeyi ısıtırlar, onun için de ısı radyasyonu da denir. 37 °C sıcaklığa sahip olan vücudumuz 900 nanometrelik kızılötesi ışıma yapar.

Bir maddenin soğurduğu kızılötesi enerjisi ısı şeklinde kendini gösterir. Çünkü madde tarafından soğurulan bu enerji vasıtasıyla, cismin atomları yerinden oynadığından, onların titreşim ve öteleme hareketleri artar, dolayısıyla maddede bir sıcaklık artışı meydana gelir.

Kızıl ötesi dalgalar iki şekildedir. Uzak kızılötesi dalgaları, ısısal özelliğe sahiptir. Kızılötesi ışımının bu tipini, ısı biçiminde günlük hayatımızda sürekli olarak karşılarız. Güneşten, bir ateşten, bir radyatörden veya yaya kaldırımından hissettiğimiz sıcaklık kızılötesidir.

Çok kısa yakın kızılötesi dalgaları, sıcak değildirler, gerçekte onları hissedemeyiz. Bu kısa dalga boyları, TV uzaktan kumanda sistemlerinde kullanılmaktadır.

1.6.1.2. Mikrodalgalar

Mikrodalga frekansları genel olarak 300-300.000 MHz frekans aralığını kapsar. Mikrodalgalar elektromanyetik dalga olarak yayılırlar, radarlarda, mikrodalga fırınlarında, cep telefonlarında, kablosuz Internet erişiminde, Bluetooth kulaklıklarda, mağaza güvenlik sistemlerinde, mikrodalga frekansları kullanılır. "Mikrodalga" sözü elektromanyetik dalganın dalga boyunun 1 metreden kısa olduğu frekansları tanımlar. Dalga boyunun 1 cm'den kısa olduğu frekanslara (30-300 GHz aralığı) "milimetrik" dalga ismi de verilir. Dalga boyunun 1 mm'den kısa olduğu frekanslara (300-3000 GHz) "submilimetrik" dalga ismi verilir.

Mikrodalgalar, iletken üzerinde ivmelendirilen yükler tarafından meydana getirilirler. Radyo dalgalarının en kısa dalga boyuna sahip olanlarıdır. Mikro dalgaların dalga boyları 0,01 mm ye kadar inmektedir.

Mikrodalgalar oldukça yüksek frekanslı radyo dalgalarıdır ve çeşitli tipteki vericilerle oluşturulabilir. Örneğin günümüzde yaygın olarak mikrodalga fırınlarında birçok kısa radyo dalgası veren bir lamba ile mikrodalgalar yayılır. Pişirilecek madde üzerine gönderilen mikrodalgalar su moleküllerinin tabii dönme frekanslarının biriyle rezonansa gelir ve suya enerji aktarır. Böylece yiyecekler içten içe pişerler. Sürekli üzerimizde taşıdığımız cep telefonumuz, bir verici çip ve bir anten yardımıyla mikrodalga oluşturulmaktadır. Bu nedenle telefonun büyük olmasına gerek kalmaz. Ancak küçük olmasının dezavantajı yaydığı dalganın güçlü olmaması ve verici için bir görüş mesafesine de ihtiyaç duymasındır. Bu nedenle cep telefonu şirketleri çok sayıda verici kule inşa etmek zorunda kalır. Ayrıca yıldızlar da mikrodalgalar yayınlamalıdır.

Mikrodalgalar, trafik hızını denetleyen kameralarda ve hava araçları, gemiler, hava tahmin istasyonları vb. ait radarlarda da kullanılır. En bilinen radar tipi mikrodalga patlamaları göndererek, vurdukları nesnelere geri gelen ekolar dedekte edilerek ve nesnenin uzaklığını ekonun geri geliş süresini kullanarak çalışır.

Uzun süre mikrodalgalara maruz kalındığında gözde katarakta (göz merceğinin önünde bulutlanma olması ve net görememe) sebep olduğu bilinmektedir. Bu nedenle sık sık mikrodalga fırının karşısına geçip yiyeceğin pişip pişmediğine bakma

alışkanlığından vazgeçmek gerekmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar cep telefonlarından yayınlanan mikrodalgaların beynin bazı kısımlarını etkileyebileceğini göstermiştir. Cep telefonu ile konuşurken kafamızda bir verici tuttuğumuzu unutmamalıyız. Bu nedenle konuşmaların da kısa tutulması tavsiye edilmektedir. Modern askeri uçaklarda ise güçlü radarlardan korunmak için mikrodalgaları yansıtan özel elbiseler giyilmektedir.

1.6.1.3. Radyo Dalgaları

Radyo dalgaları dalgaboyuna bağlı olarak çeşitli tipteki vericilerle oluşturulur. Ayrıca yıldızlar tarafından yayınlanır ve şimşek çakması ile de oluşurlar. Bu nedenle gök gürlediği zaman radyomuzda parazit oluşur.

Radyo dalgaları elektromanyetik spektrumda düşük frekans bölgesindedirler ve daha çok iletişim alanında kullanılırlar.

Yüksek dozda radyo dalgalarının kanser, lösemi ve diğer hastalıklara sebep olduğuna inanılmaktadır. Bazı insanlar evlerinin yakınından geçen güç kablolarından çok düşük frekanslı bir alan oluştuğunu ve sağlıklarının etkilendiğini iddia etmektedirler.

Radyo dalgaları aşağıdaki şekilde bölümlere ayrılır: Uzun Dalga, dalgaboyları yaklaşık 1~2 km' dir. Orta Dalga, dalgaboyu yaklaşık 100m' dir VHF, "Çok Yüksek Frekans" ın kısaltılmış halidir ve yaklaşık 2m dalgaboyuna sahiptirler. UHF "Ultra Yüksek Frekans" ın kısaltılmış halidir ve bir metreden daha küçük dalgaboyuna sahiptirler. Polis radyo haberleşmesinde, televizyon vericileri ve askeri hava araçları radyoları için (askeri haberleşme artık genellikle dijital ve şifreli olsa da) kullanılır.

1.6.1.3.1. VLF (Very Low Frequency)

Frekansları 3-30 kHz arasındadır Yer ve gök dalgaları olarak yayılmaktadır. Yer dalgaları hâkimdir ve 4000 nm' den daha uzak mesafelere ulaşabilir. Dağlar alçak frekanslı dalgaların yayılmasında engel teşkil etmez. Anten boyutları oldukça büyüktür. Güçleri; Yer dalgalarındaki zayıflamaya bağlı olarak kW 'lar mertebelerindedir. Ticari telgraf çekimleri, radyo yayınlarında kullanılmaktadır.

1.6.1.3.2. ELF (Extra Low Frequency)

Frekans aralığı 3 ile 30 Hz arasında değişen radyo dalgası bandıdır. Amerika Birleşik Devletleri Donanması ve Sovyet/Rus Donanması tarafından dalışa geçmiş denizaltılarla iletişimde kullanılmıştır.

1.6.2. İyonlaştırıcı Radyasyon Bölgeleri

Üç gruptur(Güler ve Çobanoğlu, 1994):

1.6.2.1. UV(Ultraviyole)

Morötesi ışınım ya da ultraviyole (kısaca UV), dalga boyu 100 ile 400 nm arasındaki ışınımına denir. Görebildiğimiz en küçük dalga boyulu ışınımı mor olarak algıladığımızdan, bundan daha küçük dalgaboyuna sahip olan ışınım "morötesi ışınım" adı verilir. Üç gruba ayrılır:

Bilim adamları UV ışınlarını; aynı karakteristiklere sahip olmadıkları ve canlılar üzerindeki etkilerinin farklı olması sebebiyle UV-A, UV-B ve UV-C olmak üzere üç kategoriye ayırmışlardır. UV-A: En yaygın ışınlardır UV ışınlarının %95 ile en yaygın olanıdır. Ozon tabakası bu ışınların geçmesine izin verir. UV-B: Oldukça tehlikelidir. Bu ışınların büyük bir kısmı, ozon tabakası tarafından engellenir. UV ışınlarının %5'ini oluşturur. UV-C: Sağlık için en tehlikeli ışınlardır. Ozon tabakası bu ışınların bizlere ulaşmasını önler.

Işıktaki olduğu gibi, mor ve ötesi ışımada da, dalga boyu nanometre (nm) olarak tanımlanır. Metrenin milyarda biridir.

1.6.2.2. X-Işınları

X-ışınları ya da Röntgen ışınları, 0.125 ile 125 keV enerji aralığında veya buna karşılık, dalgaboyu 10 ile 0,01 nm aralığında olan elektromanyetik dalgalar veya foton demetidir. 30 ile 30.000 PHz (10^{15} hertz) aralığındaki titreşim sayısı aralığına eşdeğerdir. X ışınları özellikle tıpta tanısal amaçlarla kullanılmaktadırlar. İyonlaştırıcı radyasyon sınıfına dahil olduklarından zararlı olabilirler. 1895'te Wilhelm Röntgen tarafından bulunduğundan sıkça Röntgen ışınlarından söz edilir. Röntgen; X-ışınlarını tesadüfen bir deney yaparken bulmuştur.

Röntgen ışınlarının elektromanyetik radyasyon spektrumunun bir kısmı olduğu, bugün artık bilinmektedir. Bu ışınların dalga boyu 10^{-9} ile 10^{-11} cm arasındadır. Dalga boyu gözle görülen ışığından kısadır.

X-ışınları elektromanyetik dalga kimliğinde oldukları ve kutuplanma özelliği taşıdığı ilk olarak Charles Glover Barkla(1906) tarafından kanıtlanmıştır. X-ışınları demeti; karbon, alüminyum ve kükürt bloklarından oluşan bir saçılmayla ortama gönderilmektedir. Saçıcı ortamın elektronları, üzerine gelen x-ışınlarının elektrik alan vektörünün etkisiyle titreşerek aynı frekansta elektromanyetik dalgalar yayınlamaktadır.

1.6.2.3. Gama(γ) Işınları

Gama ışını, gama-ışını veya gamma ışınması (simge: γ), atom altı parçacıkların etkileşiminden kaynaklanan, belirli bir titreşim sayısına sahip elektromanyetik ışınımıdır; genelde uzayda gerçekleşen çekirdeksel tepkimelerin sonucunda üretilirler.

İlk defa, Paul Villard adlı Fransız kimyager-fizikçi, radyum ile çalışırken gama fotonlarını farketti. Villard'ın farkettiği bu fotonlara, Rutherford gama ışınımı adını vermiştir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı çıkarttıktan sonra genellikle kararlı bir durumda olmaz. Fazla kalan çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon halinde yayınlamaktadır. Gama ışınları, beta ışınlarından daha yüksek enerjili ve dolayısıyla daha girici (nüfuz edici) ışınlardır. γ ile sembolize edilirler.

Gama ışınları, diğer ışınlar arasında, en yüksek titreşim sayısına ve en düşük dalga boyuna sahiptirler. Taşıdıkları enerji düzeyi nedeniyle yaşayan hücrelere önemli zarar verirler. Gama ve x ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır. İyonize etme gücünün daha düşük olması, onun kalın cisimlerden kolayca geçmesini sağlar. Gama ışını, birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalarla ve sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Madde içerisinden geçerken üstel bir fonksiyon şeklinde bir şiddet azalmasına uğrarlar. Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler.

Çok kalın kurşun tabaka haricinde hemen hemen tüm maddelerden geçebilir. Co-60'ın yaymış olduğu gama ışınları ve lineer hızlandırıcı ışınlar x-ışınlarına dönüştürülerek kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Bu ışın dokuya en yüksek şekilde

radasyon verirken dokuyu saran katmana en düşük dozu vererek bu hastalığın yenilmesine katkı sağlamaktadır.

1.7. Elektromanyetik Kirlilik ve Kaynakları

Çevremizde bulunan; elektrik akımı taşıyan kablolar, radyo frekans dalgaları yayan radyo ve televizyon verici ve alıcıları, cep telefonu baz istasyonları, yüksek gerilim hatları, trafolar, tüm elektrikle çalışan cihazlar elektromanyetik alan oluştururlar ve aynı zamanda kirlilik kaynağıdır.

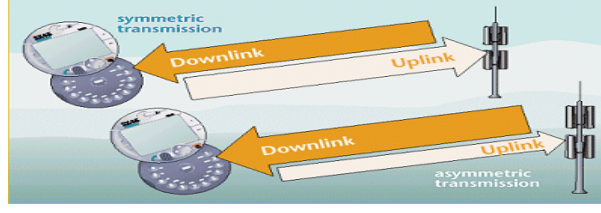
Elektromanyetik alan kaynakları; telekomünikasyon alanında doğrudan RF sinyalleri üzerinden haberleşme sağlamak için kullanılan cihazlardan yayılan dalgalar ile birlikte, amacı ortama herhangi bir elektromanyetik dalga yaymak olmayan ancak işleyişi için gerekli enerjinin kullanımı nedeniyle oluşan ve cihaz dışına yayılması önlenemeyen istenmeyen dalgaları yayan tüm cihazları içine alan geniş bir tanım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Doğal EM kaynaklarına örnek olarak Güneş, bazı uzak yıldızların ışımaları, yıldırımlar sayılabilirken, doğal olmayan EM kaynaklarına örnek olarak elektrik akımı taşıyan yeraltı ve yerüstü elektrik hatları, TV ve bilgisayarlar, elektrikli ev aletleri (Elektrikli süpürge, saç kurutma, traş makinesi vb.), mikro dalga fırınlar, radyo ve TV vericileri telsiz haberleşme sistemleri, kordsuz telefonlar, hücresel telefon sistemleri (GSM Baz istasyonları) sıralanabilir. Bunları şu alt başlıklarda açıklayabiliriz.

1.7.1. GSM sistemindeki RF kaynakları

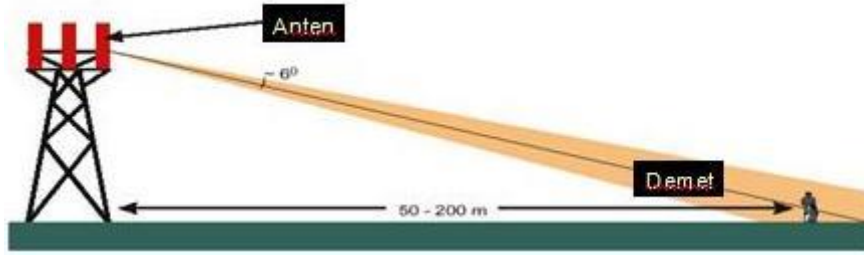
Son yıllarda sayıları hızla artan GSM hücresel haberleşme sistemi 900 MHz ve 1800 MHz' de kapsama ve trafik yükü beklentileri bakımından istenen kullanım etkinliğinin sağlanabilmesi bakımından çok sayıda GSM Baz İstasyonu (Base Transmitting Station - BTS) ile işletilmekte ve bu da ortamda özellikle de yerleşim alanları içinde yoğun bir elektromanyetik alan oluşumuna sebep olmaktadır.

Turkcell ve Vodafone 900 MHz frekans bandını Avea ise 1800 MHz frekans bandını kullanmaktadır. Ayrıca burada Baz istasyonundan cep telefonunuza doğru olan iletişim kanalına downlink, cep telefonunuzdan baz istasyonuna doğru olan iletişim kanalına ise uplink denir.



Şekil 1.3. Uplink – Downlink (URL-4, 2009)

Kullanıcı sayısı arttıkça çevremizde baz istasyonlarının sayısının artması kaçınılmazdır. Baz istasyonları tipik olarak 10-30 m yüksekliğindeki kulelere yerleştirilir. Genelde her kulede 120°'lik yatay açıyı kapsayan üç anten bulunur. Her anten düşeyde tipik, olarak 5-6°'lik hüzmeye sahiptir. Bu hüzmeye yataydan biraz aşağı yönlendirilerek kuleye en yakın 50 m' de yere değer. Her anten birkaç konuşma kanalına (tipik olarak 2-4, en fazla 16) sahiptir. Bir kule ile 30-40 km' lik yarı çaplı bir alanın kapsanabilmesi için her kanal ortalama 40-60 W çıkış gücüne ve antenler 15-18 dB kazançla sahiptir (Özdemir 2001).



Şekil 1.4. Tipik baz istasyonu tesisleri ve EM enerji yayılımı (Yazgan, 2013)

GSM şebekelerinin yaygınlaşması ve yeni hatların devreye sokulması, her yerde baz istasyonlarının kurulmaya başlaması son günlerde EM kirlilik tartışmalarını ön plana çıkarmıştır. Tartışmanın bilimsel temellere oturtulması, kavramların ve büyüklüklerin netleşmesi yaşanmaya başlanan kaosu bir ölçüde önleyecek ve olayların sağlıklı gelişimini sağlayacaktır (Sevgi, 2000).

GSM şebekelerinin yaygınlaşması ve yeni hatların devreye sokulması, her yerde baz istasyonlarının kurulmaya başlaması son günlerde EM kirlilik tartışmalarını ön plana çıkarmıştır. Tartışmanın bilimsel temellere oturtulması, kavramların ve büyüklüklerin netleşmesi yaşanmaya başlanan kaosu bir ölçüde önlemiş ve olayların sağlıklı gelişimini sağlamıştır.

Çevre Bakanlığı yeni baz istasyonları kurulmasına bir düzenleme getirmek üzere hazırladığı genelgeyi henüz yayınlamıştır. Bu genelge ile valiliklere sorumluluk, TÜBİTAK ve üniversitelere de denetleme ve ölçme yetkisi vermektedir. Sağlık Bakanlığı konu üzerinde uzun süredir çalışmalarını sürdürmektedir. TSE(Türk Standartları Enstitüsü) yıllardır standartların düzenlenmesi çalışmalarına eğilmektedir. Bunun dışında BTK(Bilgi Teknolojileri Kurumu) tarafından da Elektronik haberleşme cihazlarında güvenlik sertifikası düzenlenmesine ilişkin bir yönetmelik hazırlanıp yayınlanmıştır. Türkiye’de ölçüm yetkisi almak isteyen kurumlara da bu yetki BTK tarafından verilmektedir.

Çizelge 1.2. Ortam ve tek bir cihaz için BTK tarafından belirlenen limit değerler. (f = frekans (MHz) (T.C: Resmi Gazete, 2009).

Frekans aralığı (MHz)	E-alan şiddeti(V/m)		H-alan şiddeti(A/m)		B- Manyetik akı yoğunluğu (μ T)		Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu (W/m^2)	
	Tek cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri
0.010-0.150	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15-1	22	87	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
1-10	22/f ^{1/2}	87/f ^{1/2}	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
10-400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400-2000	0.341 f ^{1/2}	1.375 f ^{1/2}	0.0009f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.001f ^{1/2}	0.0046f ^{1/2}	f/3200	f/200
2000-60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

1.8. Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri

Elektromanyetik alanların insan sağlığına zararlı olabilecek biyolojik etkileri vardır. Eğer bazı yollarla belirlenen biyolojik sistemde elektromanyetik radyasyonun etkisi psikolojik değişiklikler yaratıyorsa insanlarda biyolojik etkiler meydana gelmiştir. Vücudun normalde telafi ettiği bölgelerde aşırı bir etki gelirse vücutta bozulmalar meydana gelir. Elektromanyetik alanların etkileri; Frekans, Alan gücü, Maruz kalma süresi, maruz kalma ölçüsü sinyal şekline dayanır (Narda, 2009).

EMA'nın zararlı etkileri hakkındaki ilk bilgiler, 1930'larda radyo operatörlerinin baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı, yorgunluk ve dikkat yoğunluğu

kaybı gibi şikâyetlerle ortaya çıkmıştır. Takip eden yıllarda, radar operatörleri ve radyo istasyonlarında çalışanların katarakt, baş ağrısı, yorgunluk ve kalp ve damar hastalıklarıyla sindirim ve sinir sistemi şikâyetleri manyetik alanla ilişkilendirilmiştir. Başlangıçta tüm bu şikâyetler “radar hastalığı” yâda “mikrodalga hastalıkları” başlığı altında toplanmıştır. 1970’li yıllarda, ABD ve Sovyet Cumhuriyetlerinde yüksek gerilim hatlarına yakın yerlerde yaşayan çocukların kan kanserine daha sık yakalanması, dikkatleri bu hatlar üzerinde toplamıştır (Narda, 2009).

EM dalgaların tüm spektrumunun canlılara etkisi olduğu bilinmektedir. Ancak bu etki mekanizmasının spektrumun her bölgesi için aynı olmadığı, farklı etkileşimlerinin bulunduğu da bilinmektedir. Çeşitli cihazlardan kaynaklanan iyonlaştırmayan ışımaya uzun süreli maruziyetin canlılarda kalıcı etkiler oluşturabileceği bilinmektedir. Ayrıca elektromanyetik radyasyon yayan cihazları kullanıldığında cihazla kullanan kişi arasındaki mesafe de maruz kalınan radyasyon miktarını etkileyebilir. Bu etki çeşitli cihazlar için Çizelge 1.3. ’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Ev aletleri ve tipik manyetik alanlar (miliGauss cinsinden)

Cihaz/Uzaklık	d=10 cm	d=30 cm	d >100 cm
Elektrik süpürgesi	300-400	30-50	3-5
Saç kurutma makinası	400	10	1
Elektrikli traş makinası	200	5	0.5
Mikser	70-200	5-10	0.5
Fotokopi makinası	80-150	10-30	1-3
Klima	100	3-5	0.5
Bulaşık makinası	20-40	5-10	0.5
Çamaşır makinesi	20-30	3-5	1
Ütü	5-10	1	0.5
Buzdolabı	5-10	1	0.5
Elektrik fırını	5-10	0.5	0.5
Tost makinesi	5-10	0.5	0.5
Renkli TV	3-5	1	0.5
Müzik seti	3-5	1	0.5
Kahve makinesi	3-5	0.5	0.5

1 MHz ile 10 GHz arasındaki frekanslarda EM alanları soğurulmuş enerjiyle vücut doku ve ısısını etkiler. Etki derinliği yüksek frekanslarda azalır, düşük frekanslarda daha derin olur. Deri yüzeyinin yakınında ısıtma olduğu yer reseptörleri aracılığıyla kolayca hissedilir. Vücut; EM enerjisinin az miktarının bir sonucu olarak temasla ısıtma kapasitesine sahiptir. 10 GHz üstünde EM alanlar deri yüzeyinde emilir. Doku altına enerjisinin sadece küçük bir bölümü etki eder. Katarakt, cilt yanıkları gibi sorunların çözümünde çok yüksek alan şiddetlerine ihtiyaç vardır.

Bu tip etkiler, radyasyona normal günlük maruz kalma yoluyla gerçekleşmez; ancak bunlar örneğin güçlü radar sistemlerinin hemen yakınında oluşabilirler. Bazı tesisler genellikle geniş bir alanı kordon altına alırlar.

- **En fazla 30 MHz:** İnsan vücudunda nüfus derinliği büyük; homojen olmayan emilen güç dağılımı
- **30 - 300 MHz:** "Rezonans aralığı"; burada, dalga boyları çok yakın tipik insan boyutu (ya da tek boyutlu vücut parçalarının ölçüsü). Alan enerji büyük ölçüde soğurulmuş. En düşük limitler bu frekans aralığında bulundu.
- **300 MHz-10 GHz:** EMF'nin insan vücudu içindeki etki derinliği bu aralık içinde azalır.
- **Aşırı 10 GHz:** Vücut yüzeyinde sıcaklıkta artış (Deri yanıkları mümkündür).

EM alanlarının dokuda neden olduğu enerji soğurulması, belirli soğurma oranı (SAR) kullanarak karakterize edilir. Bu, watt/kilogram [W/kg] birimi ile ölçülür. EM alanlarının sınırları SAR'a dayanır.

Düşük yoğunluklu EM radyasyonun uzun vadeli etkileri; Uluslararası EMF projesinin bir parçası olarak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından desteklenen bir çalışma altında kullanılmaktadır. Önceki bilimsel çalışmalar; RF alanlara maruz kalma kansere daha olası neden olup olmayacağı üzerinde anlaşmaya yöneltmedi. Hücre, enzim aktivitesi, genler belirli koşullar altında (Frekans, sinyal şekli, yoğunluğu) tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bu etkilerin insan sağlığına bir etkisi aslında halen belirsizdir. Araştırma bu alanda devam etmektedir.

Kan dolaşımı ve ısı iletkenlikte bir vücut parçasının ısı soğurması boyutu EM alanların bir sonucudur. Örneğin, diz kapağı ve gözlerimizdeki lenslerde az dolaşım

vardır veya hiç dolaşım yoktur. Bunun aksine, kalp, akciğer ve deri onların dolaşımına çok duyarlı değildir.

Ancak, alanlar ikincil etkileri sağlığını dolaylı olarak etkileyebilir. Örneğin, cep telefonları uçaklardaki navigasyon cihazlarını etkileyebilir.

- **1MHz ve 10 MHz arası;** bu frekanslardaki EM alanları vücut dokusuna işler ve emilir enerji sayesinde vücudu ısıtır. İşlemin derinliği yüksek frekanslarda azdır. Enerji işlemi yüksek frekanslarda derin olabildiği için bu üstelik dış görünüşüne yakın olan reseptörlerde kolayca hissedilmeyen daha derin sıcaklıklara sebep olacaktır.
- **10 MHz üstü;** Bu EM alanları dış yüzeyde emilir. Enerjinin sadece küçük bir miktarı alt dokuya işler. Yüksek alan güçleri katarakt veya deri yanması gibi problemleri üretmede ihtiyaç duyulur. Radyasyona maruz kalma her gün gerçekleşmeyebilir ama güçlü radar sistemlerinin yakın çevresinde meydana gelebilir. Böyle tesisler genellikle geniş bir alana koordine edilir.
- **30 MHz yukarısı:** Vücuda büyük miktarda emilmiş homojen olmayan dağılım girer
- **30-300 MHz:** Yankı çeşitliliği, dalga boyları insan boyutuna çok yakındır. Alan enerjisi büyük ölçüde emilir. Bu frekans alanında en düşük sınırlar bulunur.
- **300 MHz -10 GHz:** İnsan vücuduna alınan EMF miktarı bu alanda azalır.
- **10 GHz üstü:** Vücut sıcaklığı artar (Deri yanabilir)

Akım yoğunluğu;

- 1in altında ise kesin etkileri yoktur, çoğu vücut organlarında çalışan doğal akım yoğunluğunun çeşitliliği
- 1-10 arasında ise hafif biyolojik etkiler, değişmiş kalsiyum akımı, melatonin üretiminin engellenmesi(günlük gecelik ritmi kontrol eden), kalp ve beyinin akım yoğunluğu
- 10-100 arasında ise onaylanmış etkileri, protein ve DNA sentezinde değişiklik, enzim aktivitesi, açık görüş ve mümkün sinir etkilerinde değişiklikler, kırık kemiklerdeki iyileşme süresinin hızlanması veya yavaşlaması
- 100-1000 arasında ise merkez sinir sisteminin hassaslığının değiştirilmesi, uyarıcı dokuların gözlemlenmesi

- 1000 üzeri ise kalp işlevinin bozularak sağlığa ciddi zarar vermesi gibi etkiler de görülmektedir.

Bir EM alana maruz kalma durumunda; akciğer, kalp, cilt ve iç organlarda zayıf soğurma; beyinde orta soğurma; Lensler, metalik implantlar ve diz kapaklarında ise kuvvetli soğurma görülür.

1.9. SAR Değeri

Canlı vücudunun elektromanyetik dalgadan soğurduğu enerji “Özgül Soğurma Oranı” (Specific Absorption Rate-SAR) ile verilmektedir. Özgül Soğurma Oranı ortalama bir insan vücudunun soğuracağı kg başına enerji miktarını temsil etmektedir.

SAR değerinin ölçülmesi oldukça kompleks olmakla birlikte hesaplanması basitçe aşağıdaki formülle mümkün olmaktadır.

$$SAR = \sigma E^2 / \rho \text{ [W/kg]} \quad (1.14)$$

σ : İletkenlik EB/ μ [S/m]

E : Elektrik alan [V/m]

ρ : Yoğunluk [kg/m³]

SAR değeri doğrudan ölçülemeyen bir parametre olduğundan uygulamada ya doğrudan elektrik alanının ya da elektrik alana dönüşümü mümkün olan güç akı yoğunluğu (Power Flux Density) veya manyetik alan değerlerinden birinin ölçülmesi yeterli olmaktadır. Burada güç akı yoğunluğu, elektromanyetik dalganın akış yönüne dik birim yüzeyden geçen enerji akısını göstermektedir ve aşağıdaki formül ile verilmektedir.

$$S = EB / \mu \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1.15)$$

Güç akı yoğunluğu ortamın empedansı ve elektrik alan şiddetine aşağıdaki gibi bağlıdır.

$$S = E^2 / 377 \quad (1.16)$$

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(Yazgan, 2013).

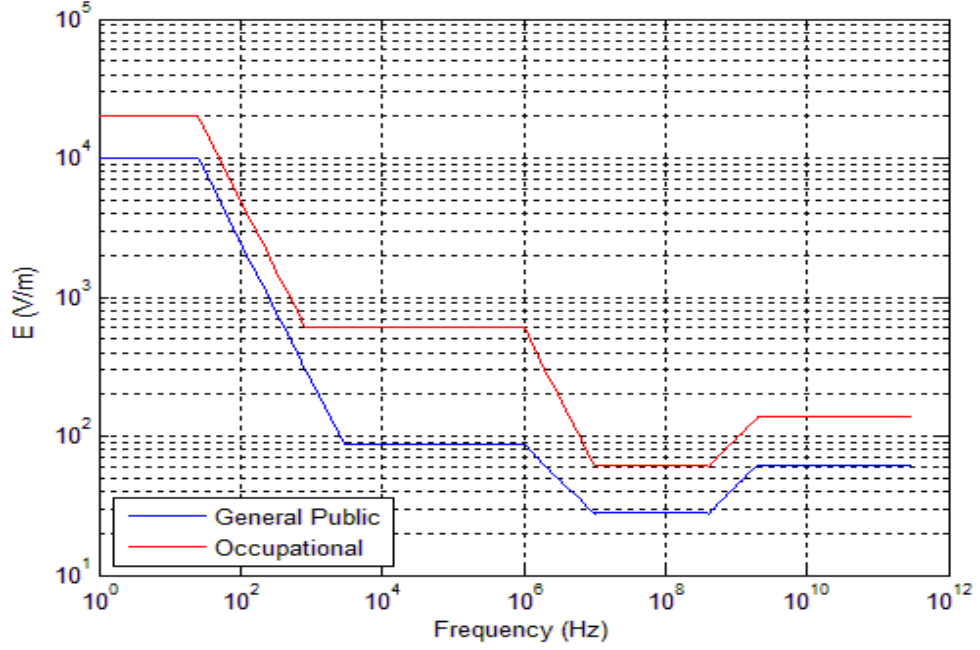
Güç akı yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılan formül Maxwell Denklemleri kullanılarak bulunmuştur.

1.0 SAR değerinin üzerindeki değerlerin yüksek risk taşıdığı uzmanlar tarafından söylenmektedir. Yasal SAR değerleri; Amerika'da yasal SAR değeri sınırı ise 1.6W/kg'dır. 1.6W/kg değerini aşan telefonların Amerika'da satışı yasaktır. Avrupa'nın belirlediği üst sınır ise 2.0W/kg'dır. Ülkemizde de bu değer 2.0 olarak belirlenmiştir.

1.10. İnsan Sağlığı İçin Sınır Değerler ve Uluslararası Kuruluşlar

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler de vardır. Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır(Şekil 1.5.). ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. ICNIRP Kılavuzu'nda (ICNIRP Guidelines) yer alan çalışmalar üniversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi, ve ilgili başka bilim adamlarından oluşan disiplinler arası bir ekip tarafından yürütölmüştür(ICNIRP, 1998).

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



Şekil 1.5. ICNIRP sınır değerlerinin frekansla değişimi

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri hakkında getirilen sınır değerler frekansa göre değişiklik gösterir. Örneğin baz istasyonlarının çalışma frekanslarını içine alan 400-2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için ICNIRP Kılavuzu'nda yer alan sınır değerler elektrik alan şiddeti için $1,375f^{1/2}$ V/m (f = frekans (MHz)); manyetik alan şiddeti için $0,0037f^{1/2}$ A/m ve elektromanyetik güç yoğunluğu için $f/200$ W/m² ifadeleriyle verilmiştir. Bu ifadelerle verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir. Buna göre genel yaşam alanlarında, GSM 900 ve GSM 1800 sistemleri için sınır değerler Çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1.4 GSM 900 MHz ve 1800 MHz sistemleri için Uluslararası Sınır Değerleri

Frekans	900 MHz		1800 MHz	
	ICNIRP	IEEE/FC C	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan	41,25 V/m	-	58,33 V/m	-
Manyetik Alan	0,111 A/m	-	0,157 A/m	-
Güç Yoğunluğu	4,5 W/m ²	6,0 W/m ²	9,0 W/m ²	10,0 W/m ²

Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.07.2001 tarihli resmi gazetede yayınlanan “10 KHz-60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik” ile Türkiye’de geçerli olan sınır değerleri belirlenmiştir. Bu yönetmelikte yer alan sınır değerlerin belirlenmesinde ICNIRP Kılavuzu’nda yer alan sınır değerler esas olarak alınmış olup, buna ek olarak her baz istasyonu için ayrıca sınırlama getirilmiştir. Buna göre tek bir cihaz için 400-2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için Telekomünikasyon Kurumu’nun yönetmeliğinde yer alan sınır değerler, elektrik alan şiddeti için $0,341f^{1/2}$ V/m, manyetik alan şiddeti için $0,0009 f^{1/2}$ A/m ve güç yoğunluğu için $f/3200$ W/m² ifadeleriyle verilmiştir. Verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

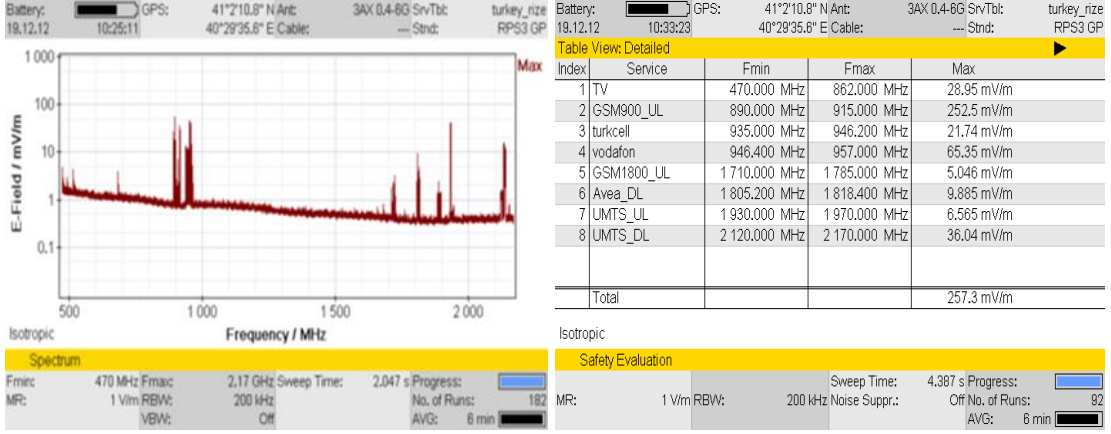
2.1. Elektrik Alan Ölçümünde Kullanılan Cihaz



Şekil 2.1. Narda SRM-3006 Cihazı

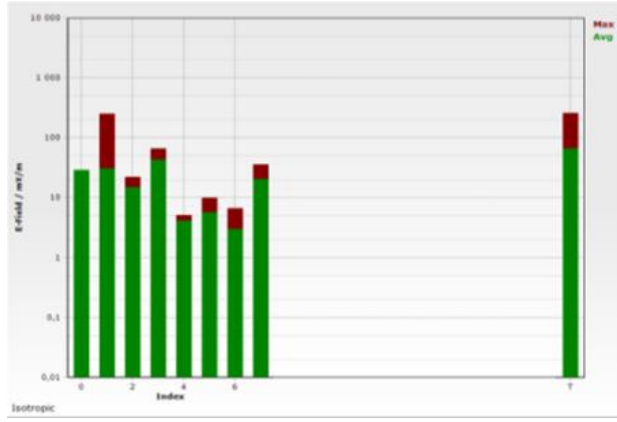
Ölçümler için çeşitli cihazlar kullanılmaktadır yaptığımız ölçümlerde Narda SRM 3006 cihazını kullanılmıştır. SRM–3006 (Selektif Radyasyon Metre) 9 kHz ila 6 GHz frekans aralığında yüksek frekanslı elektromanyetik alanların güvenlik analizlerini ve çevresel ölçümlerini yapmaya yarayan elde taşınarak kullanabilecek büyüklükte bir frekans seçici ölçüm sistemidir. Bu büyüklükte frekansları olan sinyallerin dijital olarak örneklenmesi çok güç olduğu için, SRM 3006 hem analog hem de dijital sinyal işlemeyi birlikte kullanır. Radyo yayınları, TV, mobil iletişim, radar ve kablosuz iletişim, gibi yüksek frekanslı elektromanyetik alanların mutlak ve sınır değerlerinin ölçümü için idealdir. Yapılan ölçümlerde her noktanın her saat dilimindeki ölçüm için elde edilen data 3 farklı görünümde kaydedilebilmektedir.

Cihazın ölçüm sisteminde elektrik alan ve manyetik alan değerleri, average, actual ve maximum olarak alınabilmektedir. Cihazın algıladığı alan değerinde doygunluğa ulaşması ve kararlı hale gelebilmesi için 6 dakikalık ölçüm zamanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle ölçümler 6 dakikalık zaman dilimlerinde gerçekleştirilmiştir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 2.2. SRM 3006 cihazında 3 farklı görünüm; (a) Spectrum Görünümü, (b) Data Tablosu ve (c) Bar Grafiği

1. Spektrum Görünümü: Bu görünümde elde ettiğimiz sonuçlarda her pik bir kaynaktan gelen sinyali temsil eder.
2. Data Tablosu Görünümü: Bu görünümde elde ettiğimiz sonuçlar sayısal değerlerin sıralanması şeklindedir.
3. Bar Grafiği Görünümü: Elde ettiğimiz verilerin sonuçlarını sütun şeklindeki grafik ile gösterilmesine sütun grafiği denir. Bu tip grafikte gösterilmek istenen değerler sütun veya çubuklarla ifade edilir.

2.1.1. Cihazın Gösterge ve Kontrol Panelleri



Şekil 2.3. Narda SRM-3006 Cihazı Kontrol Panelleri

Çizelge 2.1. Cihaz tuşlarının işlevleri

No.	Parça	İşlev / Açıklama
1	LCD panel	Yüksek çözünürlüklü likit kristal ekran
2	GPS alıcı	GPS alıcı anten alanı
3	Dikey tuşlar	Duruma göre, çalışma modu ve işlev seçimi, ayar değişimi
4	Mikrofon	Sesli komutların kaydedilmesi
5	Tuş takımı ve döner kumanda	Gezinme, ayar değiştirme, değer girme, teyit ve iptal Girişleri
6	Durum ekranı	Yeşil LED: cihaz kullanıma hazır Kırmızı LED: cihaz açılıyor veya cihaz hatası Kırmızı LED: Batarya şarj oluyor
7	Şarj sinyali	Yeşil LED: Şark işlemi sona erdi veya AC adaptör / şarj cihazı cihazın şarj soketine hâlâ bağlı
8	Açma/kapama anahtarı	Cihazın açık ve kapalı konumlara geçirilmesi (tuşu basılı tutarak)
9	Yatay tuşlar	Duruma göre, işlev seçimi, ayar değişimi

SRM 3006 ölçüm sistemi SRM ana birimi ve üç eksenli antenden oluşur.

Ana birim: SRM-3006 özellikle açık alanlarda ve erişilmesi güç veya zor ölçüm yerlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış bir alan ölçüm cihazıdır. Bu nedenle cihazın işlevleri pratik bir şekilde taşınabilecek şekilde düşünülmüştür.

En önemli özelliklerinden bazıları:

- Çok sayıda işlevi olmasına rağmen ebatları küçük ve hafiftir.
- Elden kaymayan ergonomik tutamakları ile güvenli bir şekilde kavranabilir ve ölçüm sırasında tüm kumandalarına kolaylıkla erişilebilir.
- Arka ışıklı, büyük ve net LCD ekranı çeşitli aydınlatma şartlarında rahat okunabilirlik sağlar.
- Folyo tipi tuş takımı zor koşullarda veya eldivenli ellerle güvenli bir çalışma sağlar.
- Hızlı ve sorunsuz şekilde değiştirilebilen şarj edilebilir bataryası ile sahada daha uzun çalışma imkânı verir.

SRM-3006 ana birimi, aşağıdaki standart özellikleri taşımaktadır:

- Tek bir kanalın geniş bant değerini (Channel Power) belirlemek için Spectrum Analiz modunun Frekans eksen Entegrasyon Bandı işlevi kullanılabilir.
- Kanal ölçümlerinin (Channel Power Plus) kanal tabloları olarak Safety Eval (Güvenlik Değerleme) modundaki servis tabloları kullanılabilir. Sonuçlar çubuk grafiklerle açık bir şekilde görüntülenir.
- Video bant genişliğini ayarlayarak veya Safety Eval (Güvenlik Değerleme) modunda dar bir RBW seçilerek gürültü sinyalleri yumuşatılabilir. Sinyallerin yumuşatılması zamandan ödün verilmesini gerektirir.
- Sinyaller, Spectrum Analiz modunda iken çok dar ve çok geniş RBW'ler kullanılarak zamana yayılmış olarak gözlemlenebilir.

Yukarıdakilerin yanı sıra SRM-3006'nın aşağıdaki işlevleri de mevcuttur:

- Alan kuvvetinin darbeli sinyalleri Level Recorder (Seviye Kayıt) modunda hızla belirlenebilir.
- Sinyaller Scope modunda gerçek zamanlı olarak analiz edilebilir veya 24 saate kadar çıkabilen uzun dönemlerle izlenebilir.
- Mekânsal ortalama ve normal ortalama standart – uyumlu ölçümler, mesela altı dakikalık aralıklarla, için önemli bilgiler sağlamaktadır.
- Tepe Değer Tablosu ve Ekstrapolasyon işlevleri ölçümlerin değerlendirilmesini sağlar.
- Demodülasyon UMTS moduna olanak sağlar.

- Kaydedilen belirli durumlar (süre, eşik değeri) özel bazı ölçüm sonuçlarının kaydedilmesini sağlayacak şekilde belirtilebilir.

SRM-3006 setinin standart setinde genellikle bir adet üç eksenli anten bulunmaktadır. Bu üç eksenli anten sayesinde, alanın ölçülecek olan üç mekânsal bileşenin otomatik olarak belirlenmesini sağlayan basit ve hızlı izotropik ölçümler yapılabilmektedir. Anten de açık alanlarda ve erişmesi güç ölçüm mekânlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Daha düşük frekanslı menzillerde yapılan elektrik ve manyetik alan ölçümleri için ayrıca tek ve üç eksenli antenler de sunmaktadır. Her Narda anteni RF kablosunun yanı sıra bir adet kontrol kablosu ile beraber gelir. Bu kablo da çok uçlu konektör yardımıyla Ana Birime bağlanarak, (tip, seri numarası, kalibrasyon tarihi, anten faktörlerinin listesi gibi) anten faktörlerini Ana Birime aktarır; böylece SRM-3006 bu veriyi tanır ve kullanır.

Anten ile Ana Birim arasındaki bağlantı için Narda Safety Test Solutions iki adet kablo sağlamaktadır. Her iki kablo da 9 kHz ile 6 GHz arası frekanslar için uygundur. Kablolar 1,5 ve 5 metre uzunluktadır. RF kablosu ile birlikte bir adet de kontrol kablosu verilmektedir. Kontrol kablosu Ana Birime çok uçlu bir konektör ile bağlanmakta olup, anten parametrelerinin (tip, seri numarası, kalibrasyon tarihi, zayıflatma faktörlerinin listesi) Ana Birime iletilmesini, böylece SRM_3006'nın bu verileri tanıyıp kullanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda, izotropik sonucun her üç eksenin yaptığı birbirini izleyen ölçümlerin kontrol edilmesini veya yöneltme bilgilerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Anten ile Ana Birim arasındaki bağlantı için piyasadan sağlanan kablolar da kullanılabilir. Ancak, üç eksenli antenler bu tip kablolar ile kontrol edilemezler.

2.1.2. Ölçüm Menzilinın Ayarlanması

Sistemin hassasiyeti giriş zayıflatıcı ayarlarına bağlıdır. Bu ayarı Ölçüm Menzili(MR) parametresi belirler. Yüksek ölçüm hassasiyeti cihazın dâhili gürültüsünden kaynaklanan sonuç bozulmalarını engeller.

Ölçüm menzili iki şekilde ayarlanır;

Manuel ölçüm menzili seçimi, alanın durumu biliniyor veya darbeleri sinyalleri ölçülüyorsa manuel ayarlama yapılmalıdır. Ölçüm menzili tuşuna basıldığında ölçüm menzili giriş kutusu açılır. Mümkün giriş hassasiyetleri listelenir. İstenilen giriş

hassasiyetini seçmek için döner kumanda kullanılır. Sonra OK anahtarına basılarak giriş hassasiyeti ayarlanmış olur.

Otomatik ölçüm menzili seçimi, Alanın durumu bilinmiyorsa bu yöntem kullanılır. MR arama tuşuna basılır. İşlem bittiğinde, cihazın ölçüm menzilini otomatik olarak uygun değere ayarlar ve normal ölçüm moduna döner.

2.1.3. Sonuç Tipinin Seçilmesi

Sonuç tipi ölçülen değerlerin nasıl değerlendirileceğini tanımlar. Her servis için her tipe bir değer bulunur. Aşağıdaki sonuç tipleri seçilebilir veya seçim geri alınabilir.

Çizelge 2.2. Sonuç Tipleri

Tip	Kısaltma	Açıklama
Aktüel	Akt	O anda ölçülen fiili değer
Maksimum	Max	Ölçülen en yüksek değer
Maksimum Ortalama	MxO	Tüm ortalama değerlerin en yükseği
Ortalama	Ort	Belirli bir sayıda ölçüm veya belirli bir sürede ölçülen değerlerin ortalaması (RMS)
Minimum Ortalama	MnO	Tüm ortalama değerlerin en düşüğü
Minimum	Min	Ölçülen en düşük değer
Standart	Std	Ağırlıklandırılmamış kısıt eğrisi olarak izin verilmiş sınır değer

2.1.4. Ölçüm Verilerinin ve Ekran Görüntülerinin Kaydedilmesi

- ✓ Ölçüm verileri ekran üzerinde altı dakikalık ölçüm süresi tamamlandığında sağ taraftaki kırmızı tuşun altındaki “SAVE” tuşuna basılarak yapılır.
- ✓ Ekran görüntülerinin kaydedilmesi ise ekranın altında en baştaki tuşa arka arkaya iki kere basılarak yapılır.

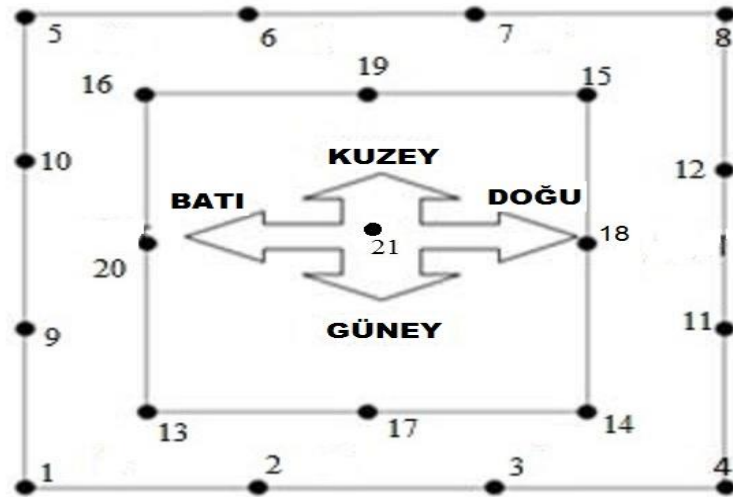
2.2. Ölçüm Metodu

Ölçümlere başlamadan önce kampüsü çevreleyecek şekilde doğu, batı, kuzey, güney ve merkez hat olmak üzere yaklaşık 50’şer m aralıklarla 21 nokta belirlenmiştir. Bu noktalarda yapılan ölçümler için aynı hava şartlarının sağlandığı

günler tercih edilmiş ve havanın nem oranının elektromanyetik dalga yayılımını etkilemesinin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda alan yayılımını arttıracak, alıcı ve vericilerin aktif kullanımda olduğu öğrencinin ders dışı saatleri tercih edilmiş ve bu durumda alanın yoğun alınacağı saat dilimleri tespit edilmek istenmiştir. Kampüs içerisinde ölçüm aldığımız noktalar aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.4. RTEÜ merkez kampüsü uydu haritası



Şekil 2.5. Ölçüm Noktaları

Noktalar belirlendikten sonra 09.04.2014 – 28.05.2014 tarihleri arasında hava koşullarının uygun olduğu günlerde her bir nokta için; altışar dakika spektrum ölçümü, altışar dakika da tablo görünümlü ölçüm olmak üzere 12'şer dakikalık ölçümler alınmış ve önceden belirlenen diğer dört farklı saatte de ölçümler

tekrarlanmıştır. Ölçümlerde frekans aralığı 800MHz - 2.17 GHz, bant genişliği 500kHz olarak seçilmiştir. Ölçüm menzili ise 1 V/m seçilmiştir. Bu ölçümler cihaza ait olan Narda 3006 SRM TOOLS yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. 21 ayrı noktanın tablo ve spektrum görüntülerinin her biri için 12 dakika olarak yapılan kayıtlar oldukça fazla zaman almış ve oldukça fazla veri bilgisi oluşmuştur. Bu verilerden her bir nokta için Elektrik Alan(E) değerlerini ele alınarak ve denklem (1.13) ve denklem (1.16)'daki bağıntılar kullanılarak her ölçüm noktası için Manyetik Alan(H) ve Güç Yoğunluğu(S) değerleri hesaplanmıştır. Bulunan H ve S değerleri ölçüm verilerine eklenerek ayrı ayrı tablolar haline getirilmiştir.

Çalışmanın devamında; elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğunun zamanla değişimler ayrı ayrı grafiksel olarak gösterilmiştir. Son aşamada ise; elde edilen ortalama güç yoğunluğu değerleri GPS koordinatları ile birlikte Surfer 8 yazılımına girilerek güç yoğunluğu değerlerinin dağılımını gösteren bir harita elde edilmiştir.

2.2. Haritalamada Kullanılan Yöntem ve Yazılım

Elektromanyetik kirliliğin tespiti amacıyla; harita oluşturmada Surfer 8 yazılımı kullanılmıştır. Bu program haritalama, üç boyutlu grafik ve harita oluşturma gibi birçok özelliği barındıran bir programdır.

Jeofizik mühendislerinin sıklıkla kullandığı birçok programa imza atmış Golden Software firması tarafından üretilmiş olan Surfer 8 programının bu sürümünde, alan ve arazi çalışmalarında alınan verileri üç boyutlu konturlamak ve anomali haritaları çıkarmak, tam anlamıyla profesyonel çalışmalar yapmak mümkün.

Programın yetenekleri arasında; 20'ye yakın enterpolasyon yöntemiyle düzenli grid haritaları oluşturmak, Microsoft Excel benzeri eklentisiyle matematiksel fonksiyonlara bağlı teorik veya entegre edilmiş olan pratik haritalar çıkarmak gibi farklı alanlarda da kullanılabilecek birçok özellik bulunuyor.



Şekil 2.6. Surfer 8 Yazılımı

Bu çalışma kapsamında, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüsü'nde elektromanyetik kirlilik yoğunluğunun yüksek olabileceği ve GSM baz istasyonlarının yoğun olarak bulunduğu birçok farklı bölgede, elektromanyetik alan ölçüm cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Kampüs içerisinde elektromanyetik kirlilik haritasının hazırlanması amacıyla, çalışma alanı olarak Kampüs çevresinde 12 farklı nokta, kampüs içinin orta bölgesinde 9 farklı nokta olmak üzere toplam 21 farklı noktada ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler esnasında NARDA SRM 3006 marka portatif bir elektromanyetik alan ölçüm cihazı kullanılarak, belirlenen noktalarda elektromanyetik alanlar ölçülmüş ve GPS verileri de aynı cihaz ile tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler XY koordinat sistemine çevirilip Surfer 8 yazılımında noktasal veri olarak tablolar halinde girilmiş ve elektromanyetik kirliliğin yoğun olarak tespit edildiği alanlar belirlenmiştir. Elde edilen veriler sayesinde radyasyondan kaynaklanan kirlilik seviyelerini de farklı renklerde gösteren harita oluşturulmuştur. Elde edilen elektromanyetik alan kirliliğine ait haritalar vasıtasıyla, kampüs içerisinde sağlık açısından riskli bölgeler tespit edilebilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Elektromanyetik Alan Ölçüm ve Hesaplama Sonuçları

Elde edilen veriler, elektromanyetik alan gücü standartları ICNIRP ve BTK sınır değerlerine göre verilmiş, analiz edilmiştir. Sonuçlarda elektrik alan ve güç yoğunluğunun bazı noktalarda daha yüksek olduğunu görülmüştür. Ölçümler farklılıkları görmek için günlük zamanlarda 5 ayrı zaman diliminde tekrarlanmıştır. 900 MHz(890MHz – 915MHz), 1800 MHz(1710MHz – 1785MHz) ve 2100 MHz(1930MHz – 1970MHz) uplink ve Turkcell(935MHz – 946MHz), Vodafone(946MHz – 957MHz), Avea(1805MHz – 1818MHz) downlink grupların elektrik alan değerleri; ortalama elektrik alan değerleri, ortalama manyetik alan değerleri ve ortalama güç yoğunluğundan oluşan sonuçlar aşağıdaki tablolardaki gibi elde edilmiştir.

Ölçümler tamamlandıktan sonra “21 noktanın 5 farklı ölçüm saatine göre elektromanyetik güç yoğunluğu değerlerindeki değişim” ve “21 farklı noktada ortalama güç yoğunluğunun değişimi” grafiksel olarak gösterilmiş ve bu veriler ışığında kampüs elektromanyetik kirlilik haritası çıkarılmıştır.

3.1.1. Ölçümler Sonucunda Elde Edilen Veriler:

Çizelge 3.1. Elde edilen veriler – 1. Nokta

SAAT	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
10:00	0,0045	0,0118	0,0307	0,0040	0,0051	0,0029	0,03390	0,08993	3,04911
12:00	0,0051	0,0090	0,0279	0,0042	0,0062	0,0030	0,03080	0,08169	2,51592
14:00	0,0051	0,0103	0,0298	0,0044	0,0059	0,0035	0,03298	0,08747	2,88439
16:00	0,0050	0,0098	0,0314	0,0042	0,0044	0,0030	0,03399	0,09016	3,06444
18:30	0,0051	0,0077	0,0244	0,0042	0,0043	0,0034	0,02700	0,07163	1,93417

Çizelge 3.2. Elde edilen veriler – 2. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	$S(\mu W/m^2)$
SAAT									
10:00	0,0049	0,0171	0,0187	0,0042	0,0183	0,0035	0,03213	0,08523	2,73867
12:00	0,0081	0,0105	0,0206	0,0044	0,0133	0,0039	0,02848	0,07554	2,15104
14:00	0,0048	0,0214	0,0235	0,0045	0,0155	0,0175	0,03997	0,10601	4,23699
16:00	0,0049	0,0178	0,0204	0,0045	0,0130	0,0035	0,03096	0,08212	2,54241
18:30	0,0102	0,0165	0,0253	0,0058	0,0130	0,0324	0,04761	0,12627	6,01140

Çizelge 3.3. Elde edilen veriler – 3. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	$S(\mu W/m^2)$
SAAT									
10:00	0,0049	0,0152	0,0299	0,0044	0,0350	0,0070	0,04941	0,13105	6,47501
12:00	0,0052	0,0218	0,0352	0,0081	0,0248	0,0051	0,04949	0,13126	6,49580
14:00	0,0050	0,0284	0,0296	0,1237	0,0342	0,0035	0,13487	0,35773	48,24561
16:00	0,0049	0,0212	0,0577	0,0045	0,0218	0,0033	0,06565	0,17412	11,43042
18:30	0,0049	0,0197	0,0548	0,0050	0,0309	0,0032	0,06636	0,17601	11,67975

Çizelge 3.4. Elde edilen veriler – 4. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	$S(\mu W/m^2)$
SAAT									
10:00	0,0050	0,0068	0,0093	0,0043	0,0079	0,0029	0,01569	0,04162	0,65290
12:00	0,0052	0,0076	0,0152	0,0043	0,0061	0,0031	0,01954	0,05182	1,01247
14:00	0,0051	0,0074	0,0089	0,0045	0,0089	0,0036	0,01651	0,04379	0,72277
16:00	0,0049	0,0071	0,0168	0,0046	0,0060	0,0032	0,02054	0,05449	1,11940
18:30	0,0049	0,0060	0,0111	0,0044	0,0061	0,0033	0,01581	0,04194	0,66318

Çizelge 3.5. Elde edilen veriler – 5. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	$S(\mu W/m^2)$
SAAT									
10:00	0,0049	0,0959	0,0721	0,0042	0,1221	0,0033	0,17134	0,45448	77,86979
12:00	0,0089	0,1113	0,0917	0,0044	0,1197	0,0031	0,18770	0,49787	93,44959
14:00	0,0089	0,1067	0,0915	0,0043	0,1234	0,0035	0,18733	0,49690	93,08666
16:00	0,0052	0,0904	0,0796	0,0044	0,1478	0,0033	0,19082	0,50617	96,58873
18:30	0,0054	0,1407	0,102,5	0,0045	0,1257	0,0031	0,18883	0,50087	94,57667

Çizelge 3.6. Elde edilen veriler – 6. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0056	0,0190	0,0251	0,0051	0,0020	0,0049	0,03284	0,08710	2,86030
12:00	0,0068	0,2396	0,0248	0,0057	0,0200	0,0057	0,24194	0,64175	155,26664
14:00	0,0117	0,0201	0,0255	0,0047	0,0175	0,0043	0,03922	0,10402	4,07917
16:00	0,0056	0,0217	0,0295	0,0085	0,0237	0,0061	0,04521	0,11993	5,42205
18:30	0,0053	0,0229	0,0336	0,0044	0,0216	0,0044	0,04677	0,12405	5,80188

Çizelge 3.7. Elde edilen veriler – 7. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0060	0,0291	0,0257	0,0051	0,0321	0,0070	0,05143	0,13642	7,01632
12:00	0,0116	0,0288	0,0247	0,0050	0,0296	0,0054	0,05007	0,13282	6,65062
14:00	0,0126	0,0254	0,0258	0,0045	0,0242	0,0042	0,04576	0,12138	5,55394
16:00	0,0059	0,0289	0,0257	0,0051	0,0284	0,0035	0,04870	0,12918	6,29094
18:30	0,0053	0,0311	0,0230	0,0068	0,0274	0,0039	0,04840	0,12838	6,21307

Çizelge 3.8. Elde edilen veriler – 8. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0056	0,0264	0,0202	0,0052	0,0220	0,0033	0,04074	0,10807	4,40328
12:00	0,0055	0,0209	0,0233	0,0053	0,0218	0,0040	0,03911	0,10374	4,05731
14:00	0,0054	0,0262	0,0179	0,0046	0,0288	0,0037	0,04357	0,11558	5,03628
16:00	0,0054	0,0282	0,0190	0,0047	0,0274	0,0035	0,04441	0,11781	5,23202
18:30	0,0052	0,0244	0,0233	0,0044	0,0213	0,0043	0,04069	0,10792	4,39100

Çizelge 3.9. Elde edilen veriler – 9. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0050	0,0059	0,0134	0,0042	0,0046	0,0031	0,01694	0,04494	0,76135
12:00	0,0057	0,0061	0,0136	0,0042	0,0050	0,0035	0,01759	0,04666	0,82080
14:00	0,0081	0,0059	0,0149	0,0044	0,0054	0,0030	0,01951	0,05174	1,00939
16:00	0,0053	0,0069	0,0140	0,0043	0,0046	0,0042	0,01813	0,04810	0,87215
18:30	0,0069	0,0063	0,0122	0,0046	0,0051	0,0033	0,01715	0,04550	0,78056

Çizelge 3.10. Elde edilen veriler – 10. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	$S(\mu W/m^2)$
SAAT									
10:00	0,0056	0,0107	0,0158	0,0044	0,0103	0,0031	0,02302	0,06107	1,40622
12:00	0,0062	0,0114	0,0133	0,0045	0,0112	0,0033	0,02242	0,05948	1,33367
14:00	0,0061	0,0073	0,0099	0,0059	0,0072	0,0032	0,01688	0,04476	0,75536
16:00	0,0054	0,0084	0,0125	0,0054	0,0090	0,0032	0,01942	0,05151	1,00023
18:30	0,0054	0,0084	0,0109	0,0048	0,0083	0,0051	0,01836	0,04870	0,89405

Çizelge 3.11. Elde edilen veriler – 11. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	$S(\mu W/m^2)$
SAAT									
10:00	0,0053	0,0066	0,0081	0,0045	0,0065	0,0052	0,01501	0,03982	0,59773
12:00	0,0051	0,0071	0,0087	0,0044	0,0061	0,0039	0,01496	0,03967	0,59326
14:00	0,0067	0,0089	0,0081	0,0048	0,0107	0,0034	0,01837	0,04872	0,89500
16:00	0,0061	0,0088	0,0084	0,0045	0,0114	0,0033	0,01858	0,04930	0,91618
18:30	0,0053	0,0078	0,0080	0,0045	0,0089	0,0032	0,01619	0,04295	0,69553

Çizelge 3.12. Elde edilen veriler – 12. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0090	0,0090	0,0094	0,0075	0,0118	0,0044	0,02158	0,05725	1,23543
12:00	0,0070	0,0093	0,0108	0,0045	0,0110	0,0036	0,02012	0,05336	1,07357
14:00	0,0059	0,0095	0,0086	0,0046	0,0111	0,0033	0,01883	0,04994	0,94011
16:00	0,0073	0,0099	0,0076	0,0047	0,0099	0,0032	0,01843	0,04888	0,90088
18:30	0,0055	0,0090	0,0098	0,0045	0,0099	0,0032	0,01828	0,04849	0,88647

Çizelge 3.13. Elde edilen veriler – 13. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0054	0,0122	0,0236	0,0043	0,0161	0,0047	0,03218	0,08537	2,74727
12:00	0,0052	0,0134	0,0132	0,0043	0,0106	0,0039	0,02294	0,06086	1,39645
14:00	0,0051	0,0128	0,0147	0,0068	0,0101	0,0052	0,02407	0,06385	1,53699
16:00	0,0051	0,0108	0,0149	0,0044	0,0117	0,0035	0,02311	0,06129	1,41629
18:30	0,0052	0,0116	0,0209	0,0045	0,0145	0,0037	0,02902	0,07696	2,23318

Çizelge 3.14. Elde edilen veriler – 14. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0068	0,0142	0,0200	0,0043	0,0241	0,0035	0,03544	0,09401	3,33222
12:00	0,0048	0,0162	0,0258	0,0138	0,0188	0,0035	0,03885	0,10305	4,00381
14:00	0,0051	0,0143	0,0253	0,0046	0,0267	0,0128	0,04200	0,11140	4,67876
16:00	0,0052	0,0130	0,0265	0,0046	0,0163	0,0032	0,03457	0,09169	3,16959
18:30	0,0051	0,0144	0,0251	0,0069	0,0222	0,0041	0,03768	0,09995	3,76656

Çizelge 3.15. Elde edilen veriler – 15. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E_{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0062	0,0263	0,0532	0,0044	0,0290	0,0035	0,06654	0,17651	11,74582
12:00	0,0048	0,0319	0,0497	0,0042	0,0340	0,0016	0,06847	0,18161	12,43383
14:00	0,0049	0,0208	0,0589	0,0046	0,0482	0,0100	0,07982	0,21172	16,89984
16:00	0,0048	0,0263	0,0393	0,0045	0,0188	0,0040	0,05148	0,13654	7,02878
18:30	0,0049	0,0363	0,0413	0,0045	0,0194	0,0052	0,05889	0,15621	9,19960

Çizelge 3.16. Elde edilen veriler – 16. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0050	0,0232	0,0327	0,0044	0,0265	0,0055	0,04881	0,12947	6,31992
12:00	0,0056	0,0235	0,0367	0,1220	0,0312	0,0035	0,13341	0,35388	47,21327
14:00	0,0051	0,0190	0,0470	0,0045	0,0315	0,0048	0,06023	0,15976	9,62243
16:00	0,0050	0,0249	0,0257	0,0045	0,0118	0,0041	0,03847	0,10205	3,92637
18:30	0,0049	0,0331	0,0353	0,0080	0,0197	0,0038	0,05317	0,14102	7,49752

Çizelge 3.17. Elde edilen veriler – 17. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0202	0,0102	0,0140	0,0259	0,0120	0,0177	0,04284	0,11363	4,86776
12:00	0,0136	0,0103	0,0135	0,0133	0,0104	0,0102	0,02939	0,07797	2,29192
14:00	0,0059	0,0105	0,0179	0,0172	0,0092	0,0065	0,02979	0,07902	2,35390
16:00	0,0056	0,0091	0,0163	0,0115	0,0109	0,0089	0,02662	0,07061	1,87954
18:30	0,0013	0,0090	0,0168	0,0147	0,0142	0,0116	0,03022	0,08017	2,42285

Çizelge 3.18. Elde edilen veriler – 18. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0097	0,0184	0,0507	0,0076	0,0206	0,0052	0,05930	0,15730	9,32800
12:00	0,0061	0,0167	0,0503	0,0186	0,0212	0,0082	0,06092	0,16159	9,84415
14:00	0,0073	0,0175	0,0476	0,0113	0,0201	0,0117	0,05739	0,15222	8,73488
16:00	0,0090	0,0178	0,0532	0,0057	0,0209	0,0085	0,06134	0,16271	9,98069
18:30	0,0259	0,0186	0,0507	0,0099	0,0190	0,0098	0,06439	0,17081	10,99889

Çizelge 3.19. Elde edilen veriler – 19. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0053	0,0385	0,0949	0,0066	0,0471	0,0080	0,11334	0,30063	34,07248
12:00	0,0054	0,0404	0,0893	0,0185	0,0542	0,0063	0,11384	0,30196	34,37437
14:00	0,0070	0,0402	0,0773	0,0052	0,0583	0,0134	0,10606	0,28133	29,83908
16:00	0,0107	0,0460	0,0773	0,0152	0,0644	0,0114	0,11275	0,29907	33,71943
18:30	0,0072	0,0419	0,0851	0,0077	0,0582	0,0073	0,11204	0,29719	33,29653

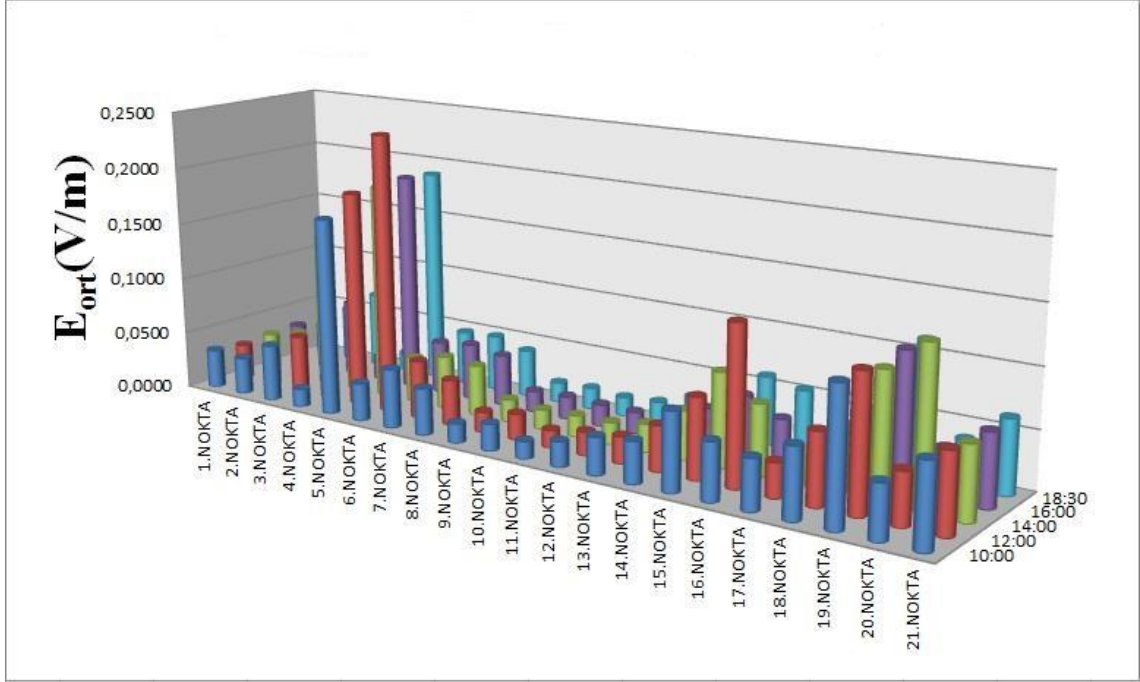
Çizelge 3.20. Elde edilen veriler – 20. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0067	0,0162	0,0359	0,0070	0,0196	0,0063	0,04545	0,12055	5,47884
12:00	0,0061	0,0158	0,0282	0,0128	0,0211	0,0156	0,04398	0,11666	5,13086
14:00	0,0080	0,0158	0,0346	0,0106	0,0189	0,1250	0,13269	0,35196	46,70077
16:00	0,0111	0,0164	0,0281	0,0062	0,0206	0,0095	0,04163	0,11044	4,59799
18:30	0,0087	0,0157	0,0248	0,0045	0,0220	0,0055	0,03832	0,10164	3,89496

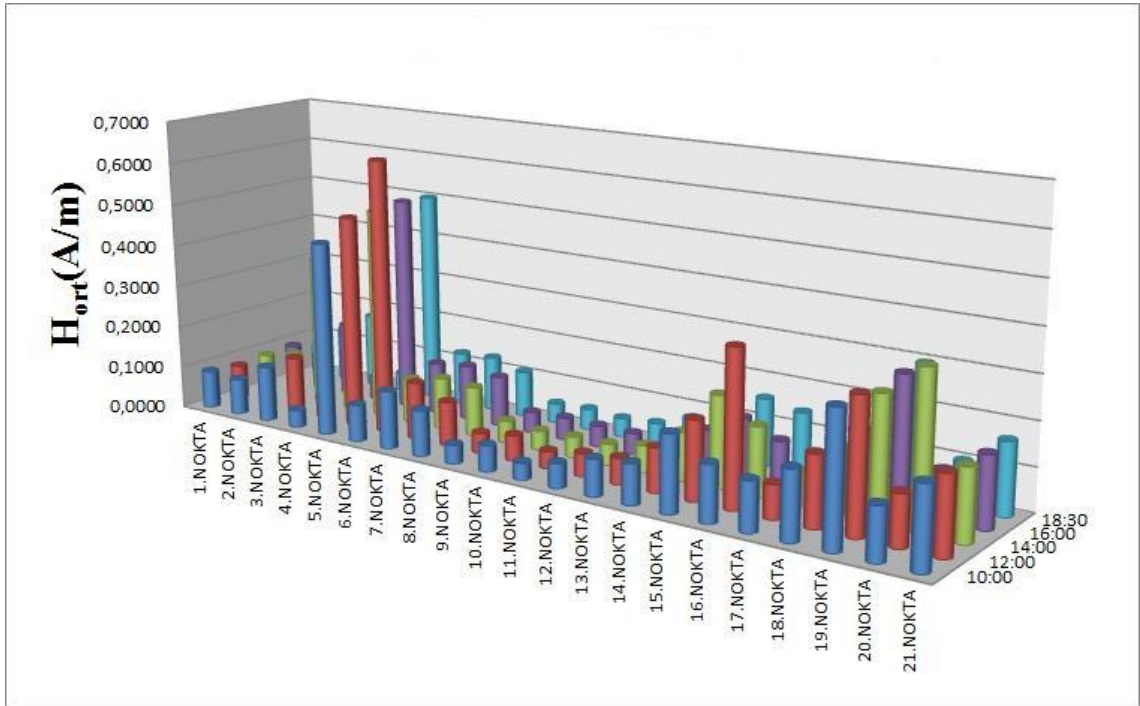
Çizelge 3.21. Elde edilen veriler – 21. Nokta

	900MHz (V/m)	Turkcell (V/m)	Vodafone (V/m)	1800MHz (V/m)	Avea (V/m)	2100MHz (V/m)	E _{ort} (V/m)	H(A/m)	S(μ W/m ²)
SAAT									
10:00	0,0247	0,0220	0,0555	0,0122	0,0210	0,0085	0,06953	0,18443	12,82386
12:00	0,0132	0,0220	0,0550	0,0051	0,0210	0,0179	0,06688	0,17740	11,86491
14:00	0,0157	0,0227	0,0509	0,0092	0,0187	0,0055	0,06176	0,16382	10,11792
16:00	0,0104	0,0228	0,0502	0,0121	0,0202	0,0073	0,06131	0,16263	9,97068
18:30	0,0066	0,0242	0,0500	0,0153	0,0200	0,0104	0,06220	0,16498	10,26139

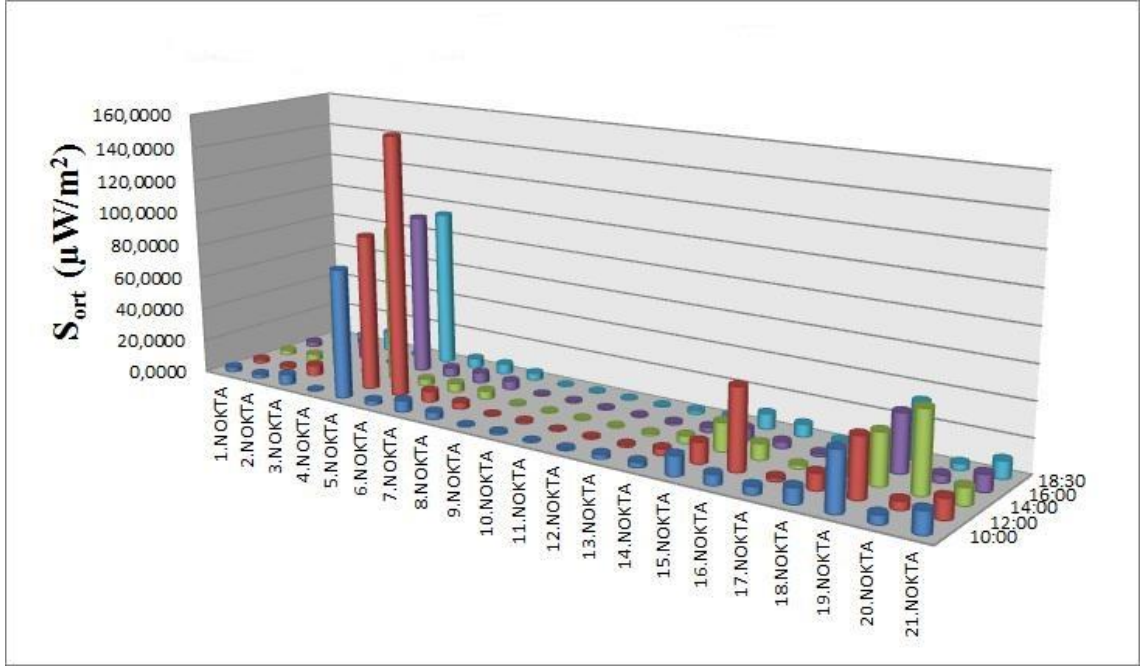
3.2. Ölçüm ve Hesaplama Sonuçlarının Grafikselsel Gösterimi



Şekil 3.1. Elektrik alanın ölçüm saatlerine değışimi



Şekil 3.2. Manyetik alanın ölçüm saatlerine göre değışimi

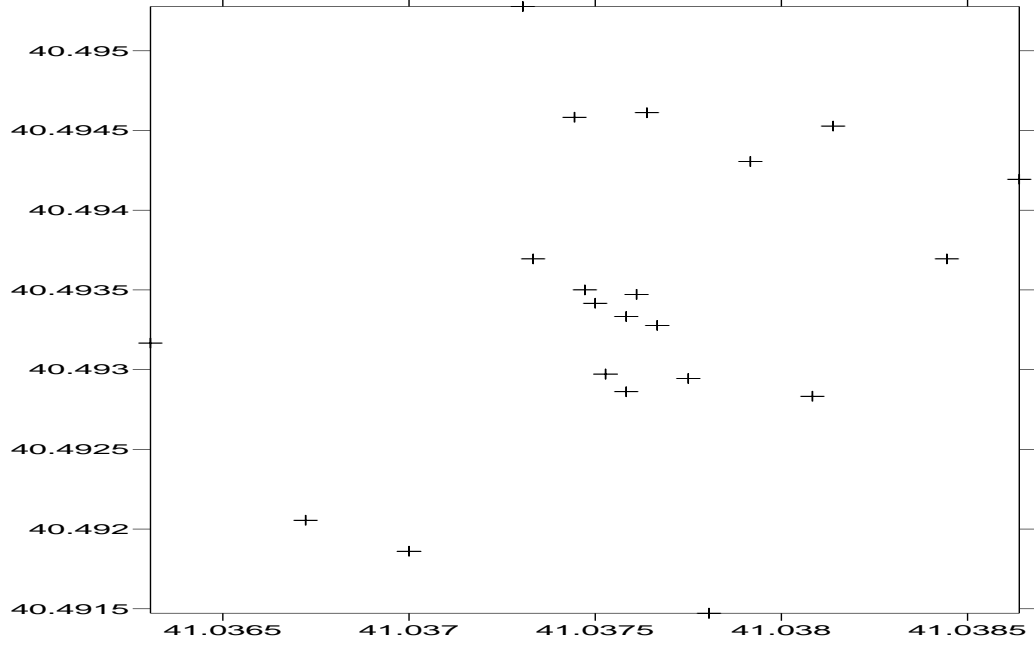


Şekil 3.3. Güç yoğunluğunun ölçüm saatlerine göre değişimi

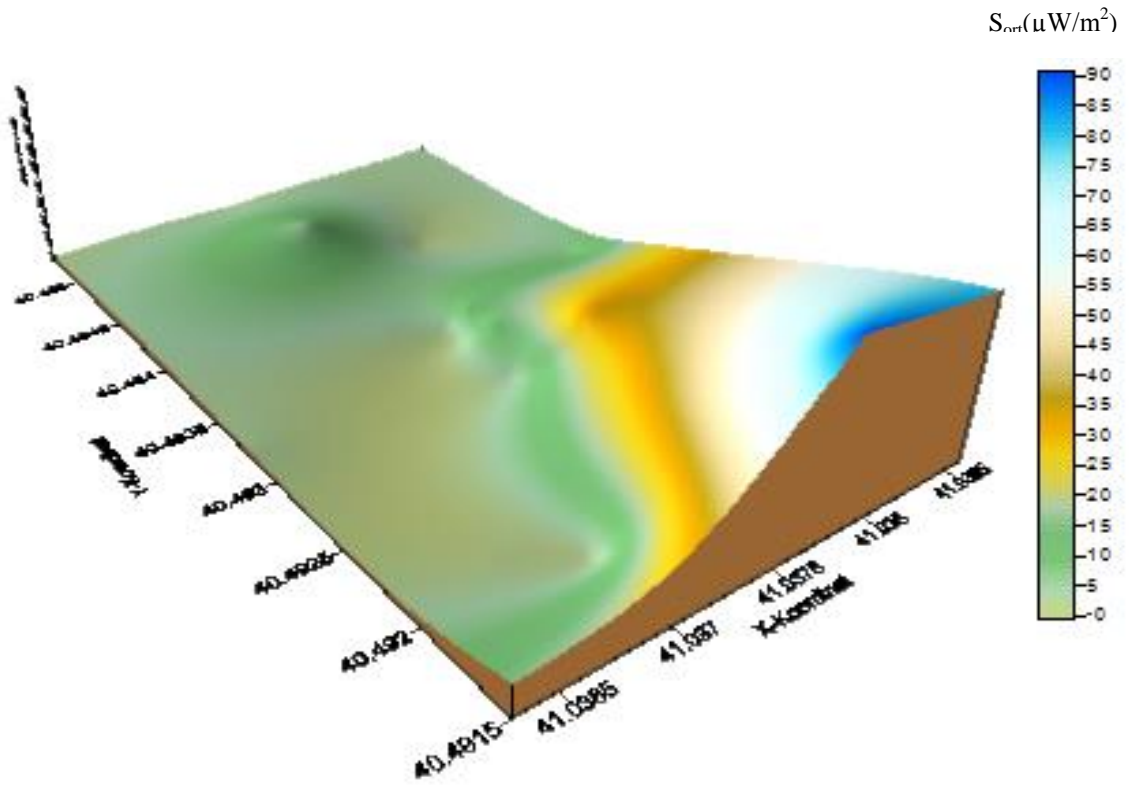
3.3. Elde Edilen Elektromanyetik Kirlilik Haritası

Çizelge 3.22. Haritalamada kullanılan S_{ort} değerleri ve GPS Verileri

Ölçüm Noktaları	$S_{ort}(\mu W/m^2)$	GPS Verileri	
		X	Y
1.NOKTA	2,6896	41,0363	40,4932
2.NOKTA	3,5361	41,0373	40,4937
3.NOKTA	16,8653	41,0374	40,4946
4.NOKTA	0,8341	41,0373	40,4953
5.NOKTA	91,1143	41,0378	40,4915
6.NOKTA	34,6860	41,0381	40,4928
7.NOKTA	6,3450	41,0384	40,4937
8.NOKTA	4,6240	41,0386	40,4942
9.NOKTA	0,8488	41,0367	40,4921
10.NOKTA	1,0779	41,0370	40,4919
11.NOKTA	0,7395	41,0379	40,4943
12.NOKTA	1,0073	41,0381	40,4945
13.NOKTA	1,8660	41,0375	40,4934
14.NOKTA	3,7902	41,0375	40,4930
15.NOKTA	11,4616	41,0376	40,4929
16.NOKTA	14,9159	41,0377	40,4933
17.NOKTA	2,7632	41,0375	40,4935
18.NOKTA	9,7773	41,0376	40,4946
19.NOKTA	33,0604	41,0378	40,4929
20.NOKTA	13,1607	41,0376	40,4933
21.NOKTA	11,0078	41,0376	40,4935



Şekil 3.4. RTEÜ Merkez Kampüs Ölçüm Noktaları



Şekil 3.5. RTEÜ Merkez Kampüs Elektromanyetik Kirlilik Haritası

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Üniversitemizin merkez kampüsündeki elektromanyetik kirlilik incelenmiştir. Kampüsün 21 farklı noktasında yapılan elektromanyetik kirlilik ölçümleri günün farklı saatlerinde tekrarlanarak eğitim ve sosyal aktiviteler sürecinde yoğun olarak kullanılan teknolojik cihazların yaydığı ışınımın potansiyel tehlikesi analiz edilmiştir. Sonuçlar ICNIRP ve Bilgi Teknolojileri Kurumu tarafından ilan edilen ve Çizelge 1.2 ve 1.4 de verilen standart değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan ölçümlerin sonuçları 3. bölümde Çizelgeler 3.1–3.21’ de verilmiştir. Bu çizelgelerde, 900 MHz, 1800 MHz ve 2100 MHz uplink ve Turkcell, Vodafone, Avea downlink gruplarının elektrik alan değerleri verilmektedir. Ayrıca ortalama elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğu değerleri de hesaplanarak gösterilmiştir. Ortalama güç yoğunluğu değerinin saatlere göre değişimi Şekil 3.3.’de, gün içindeki değişimi ise Çizelge 3.22 de verilmiştir.

Şekil 3.3.’de görüldüğü gibi, Kampüsümüzdeki elektromanyetik kirliliğin en yoğun olduğu bölge 5. Ölçüm noktası civarı (Cami Civarı)’dır. Bunun nedeninin şehirde baz istasyonlarının genellikle sahil tarafına konulması sebebiyle cami karşısındaki köprü civarında bulunan bir baz istasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Ayrıca, kantin ve Bilgi-işlem Daire Başkanlığı civarındaki (18.nokta bilgi işlemin önü) 13. – 21. noktalar arasında kalan bölgelerde de kayda değer miktarda elektromanyetik kirlilik olduğu tespit edilmiştir. Gerek öğrencilerin gerekse personellerin bu bölgelerde yoğun olması ve bundan dolayı bu civarda cep telefonu, dizüstü bilgisayar gibi cihazlar ile sık veri alışverişi yapıyor olmasının bu durumun en önemli sebeplerinden biri olduğu tespit edilmiştir. Kampüsün yan çevrelerini temsil eden 9.-12. Noktalar arasındaki ise elektromanyetik kirlilik yok denecek kadar azdır. Kampüsümüzde yapılan tüm ölçümlerin sonucunda elde edilen değerler sınır değerlerin oldukça altında kalmaktadır. Görülen en yüksek durum 5. ve 6. ölçüm noktalarındadır.

Ekler bölümünde ölçümlerden elde edilen spektrum görüntülerinden örnekler verilmiştir. Çizelge 3.1.’den 3.21.’e kadar olan çizelgeler data tablosu görünümünde elde edilen sayısal değerlerdir. Spektrum görünümü ve data görünümünün aynı anda ölçülememesi spektrum görünümünde anlık sinyal etkilerinin de sebebiyle ortalama elektrik alan değerleri daha yüksek seviyede görünmektedir. Bu yüzden ortamın genel durumu incelenirken çizelgelerdeki değerler dikkate alınıp kullanılmıştır.

Çalışmanın devamında, ölçülen güç yoğunluğu değerleri Surfer 8 programına girilerek yoğun elektromanyetik kirlilik bölgelerini gösteren veriler ve radyasyondan kaynaklanan elektromanyetik kirlilik seviyesini temsil eden renkli bir harita elde edilmiştir. Bu harita Şekil 3.6 da verilmektedir. Bu haritada, önceden hesaplanan ortalama güç yoğunluğu değerleri büyükten küçüğe doğru kırmızıdan maviye değişen renk tonları ile sembolize edilmiştir. Bu harita yukarıda belirtilen elektromanyetik kirlilik açısından riskli bölgeleri görsel açıdan ifade etmektedir.

Sonuç olarak, Kampüsümüzde yoğun olarak kullanılan WLAN, bluetooth, GSM, baz istasyonları vb. elektromanyetik alan kaynaklı kirlilik çok yüksek çıkmasa da alanın fazla olduğu bölgelerde öğrenci ve personelin stres ve huzursuzluğuna sebep olabilir. Bu bağlamda teknolojik cihazları kullanırken yaydıkları radyasyondan en az etkilenmek için öneriler kısmında sıraladığımız tedbirlerin alınması gerekmektedir.

5. ÖNERİLER

Hızla gelişen teknolojik cihazların neden olduğu elektromanyetik kirliliğin etkisinden tamamen korunabilmek mümkün değildir ancak zararları azaltılabilir. Alınacak bazı tedbirlerle yüksek maliyetler söz konusu olmadan da bu sorun önemli ölçüde halledilebilir.

Kampüsümüz içerisinde yapılan ölçümler sırasında; teknolojik cihazları yoğun bir şekilde kullanan personelin ve öğrencilerin maruz kaldığı elektromanyetik kirlilikten haberdar olmadıkları gözlemlenmiştir. Ayrıca elektrik alan ve elektromanyetik kirlilik ölçümü yapan kuruluşların yeterli sayıda olmadığı ve mevcutların halkı bilgilendirme ve bilinçlendirme görevlerini üstlenmediği tespit edilmiştir. Maruz kalınan elektromanyetik kirliliğin etkilerinin en aza indirgenmesi kapsamında:

- ✓ Her ferdin kendi durumunu değerlendirebilmesi ve kendisini koruyacak basit önlemleri alabilmesi için bilgilendirici broşür ve kitapçıklar temin edilmelidir.
- ✓ Etkili korunma için; kirlilik durumunu tespit edecek uygun ölçüm aletlerinin bulundurulması, ölçüm yapan kurum veya şirketlerin arttırılması ve halkın bilinçlendirilmesi gereklidir.
- ✓ Yüksek gerilim hatları, radarlar, telekomünikasyon cihazı vericileri ve benzerlerinin insanların yaşam alanlarında konumlandırılması sonucu oluşan elektrik alan şiddeti ve güç miktarları ile ilgili kurallar belirlenip uygulanmalıdır.
- ✓ Elektrikli ve elektronik aletlerin kullanıldığı iş yerlerinde sağlıklı koşulların yaratılması için kurallar belirlenmelidir. Bu gibi iş yerlerinde çalışmak zorunda olanlar ne gibi önlemler almaları gerektiğini bilmelidir. İşyerinde radyasyon sınır değerlerini aşan bölgeler var ise çalışanların bu bölgeler hakkında uyarılmalıdır.
- ✓ Yaşam ya da çalışma ortamının elektromanyetik kirlilikten korunabilmesi için, radyo ve TV vericileri kendilerinden daha yüksek anten direklerinden ve yerleşim alanlarından uzak yerlerde kurulmalıdır.

- ✓ Elektromanyetik kirliliğin zararlarının en aza indirilebilmesi için, elektromanyetik kirlilik hakkında çıkarılacak olan kanun ve yönetmeliklerin etkili olarak kullanılması gereklidir.
- ✓ BTK ve TSE gibi uygulayıcı kurumların; Sağlık Bakanlığı, üniversiteler, belediyeler, sivil toplum örgütleri vb. tüm ilgili kurumlar ile koordineli olarak toplumu bilinçlendirecek şekilde kapsamlı bir çalışma yapmaları gereklidir. Günlük yaşantımızda kullandığımız radyasyon yayan araç ve gereçlerin bilinçsiz kullanımının mahsurları hakkında tüketicinin üretici tarafından bilgilendirilmesi gerekmektedir.
- ✓ Cihazlar üzerinde, radyasyon ve elektrik alan oluşturduğuna dair uyarıcı yazılar görünür bir şekilde bulundurulmalıdır.
- ✓ Baz istasyonu anteni bulunan bir binanın hangi katında olursa olsun ikamet etmek son derecede tehlikelidir.
- ✓ Bina çatıları yayılan radyasyonu büyük ölçüde absorbe eder ve yaklaşık olarak ışınım şiddetini 5-10 kat azaltır. Çatı, betonarme veya metal ise bu oran daha da artar. Yapı tasarımlarında bu bilgi göz önüne alınmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- As N., Dilek B., Şahin M.E. ve Karan Y., 2014.** Electromagnetic Pollution Measurement in the RTE University Campus Area", 2nd Global Conference on Environmental Studies Roma, 10-12.04.2014
- Ada N., 2007.** Örgütsel İletişim ve Yeni Bilgi Teknolojileri
- Bold, A., Toros, H. ve Şen O., 2003.** Manyetik alanın insan sağlığı üzerindeki etkisi
- Bursa Nilüfer Belediyesi, 2007.** Nilüfer İlçesi Elektromanyetik Kirlilik Raporu. Bursa, Türkiye, 30s.
- BTK, 2013.** BTK Kurs Notları. Ankara, Türkiye, 60s
- Griffiths D. J., 2003.** Introduction to Electrodynamics, yayınları, 10.Baskı, 594s., London
- Güler Ç ve Çobanoğlu Z., 1994.** Elektromanyetik Radyasyon, 29 s. 1994, Ankara
- ICNIRP, 1998.** Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics, 74(4), pp:494–522.
- Kamil Ç., 2006.** Elektromanyetik alan ,Bilim ve Teknik Ağustos Sayısı
- Morgül A., 2010.** Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'ne Giriş, 232 s., İstanbul
- NARDA, 2009.** Basic Insights Safety in electric, magnetic and electromagnetic fields.Germany, 20 s.
- NARDA, 2010.** NARDA SRM 3006 Kullanma Kılavuzu, 226s., Almanya.
- Özdemir, A.R., 2001.** Elektromanyetik dalgaların yayılımı ve dönüşüm formülleri. Telekomünikasyon Kurumu Spektrum İzleme ve Denetleme Daire Başkanlığı, 34 s., Ankara.
- Özdemir, A.R., 2004.** Ankara İstanbul ve İzmir şehirlerinde elektromanyetik kirlilik haritasının hazırlanması ve elektromanyetik kirliliğin azaltılması yönünde öneriler. Uzmanlık Tezi Telekomünikasyon Kurumu, 125 s., Ankara.
- Payashoğlu, M. 2000.** GSM (Global System for Mobile Communications), <http://www.antrak.org.tr/gazete/032000/mutlu.htm>. Erisim Tarihi: 29.03.2004
- Ramiz, H., 2004.** Elektromanyetik Kirlilik, GSM Baz İstasyonları ve Işınımların Ölçülmesi,

- Sabuncu, H., 2005.** Elektromanyetik Radyasyonlar ve Elektromanyetik Alanlar İle İlgili Tanımlar – Sağlığa Olumsuz Etkileri, Tübitak bülten, 2001
- Sahin, M.E., Karan, Y. ve As, N. 2011.** Spectrum Analyzer Measurement Technique for Safety Evaluation on Wireless Communication Systems, URSIGASS 2011, İstanbul, IEEE Proceeding, 2011.
- Sahin, M.E., Karan, Y. ve As, N., 2013.** Selective Radiation Measurement For Safety Evaluation On Base Stations, Gazi University Journal of Science, 26(1), pp:73-83.
- Şeker, S. ve Çerezci O., 2000.** Radyasyon Kuşatması, Boğaziçi Üniv. Yayınevi, İstanbul, 2000, pp: 1-26.
- Sevgi, L., 2000.** Elektromanyetik Uyumluluk – Elektromanyetik Kirlilik, Aralık
- Sevgi, L., 2000.** EM Kirlilik, Cep Telefonları ve Baz İstasyonları, EMO İstanbul Şube Bülteni Haziran.
- T.C: Resmi Gazete, 2009.** Elektronik Haberleşme Cihazlarına Güvenlik Sertifikası Düzenlenmesine İlişkin Yönetmelik, Sayısı: 27230.
- Telekomünikasyon Kurumu, 2001.** 10kHz - 60GHz Frekans Bandında Çalışan ve Ortamda İstem Dışı Elektromanyetik Alan Maruziyetine Neden Olan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarının Kuruluş Yeri, Montajı, Elektrik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik.
- TS ENV 50166-2, 1996.** İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması-Yüksek Frekanslar (10 kHz-300 GHz). TSE., Ankara, 1.Baskı, 20s.
- TÜBİTAK-BİLTEN, 2001.** Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı. Ankara, Türkiye, 40s.
- Uygunol, O., 2009.** Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla GSM Baz İstasyonlarında Elektromanyetik Alan Kirliliği Tespiti ve Konya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- URL-1, 2001.** www.biltek.tubitak.gov.tr/gsm.pdf (17 Aralık 2001)
- URL-2, 2013.** <http://www.lbl.gov/MicroWorlds/ALSTool/EMSpec/EMSpec2.html> (8 Kasım 2013).
- URL-3, 2013.** <http://gnrk.gazi.edu.tr/posts/view/title/sar-nedir%3F-10102> (8 Kasım 2013)
- URL-4, 2009.** <http://www.iphoneistanbul.com/haberler/143-3g-nedir-.html> (1 Ağustos 2009)

Yazgan, E., 2013. Elektrik Alan Maruziyeti, İnsan Sağlığına Etkileri ve Sınır Değerler Ders Notları

7. EKLER

7.1. Ölçüm Yerlerinden Görüntüler



Şekil 7.1. Kampüs İçinden Bir Bölge



Şekil 7.2. Kampüs Yakınındaki Bazı Vericilerin Görünümü



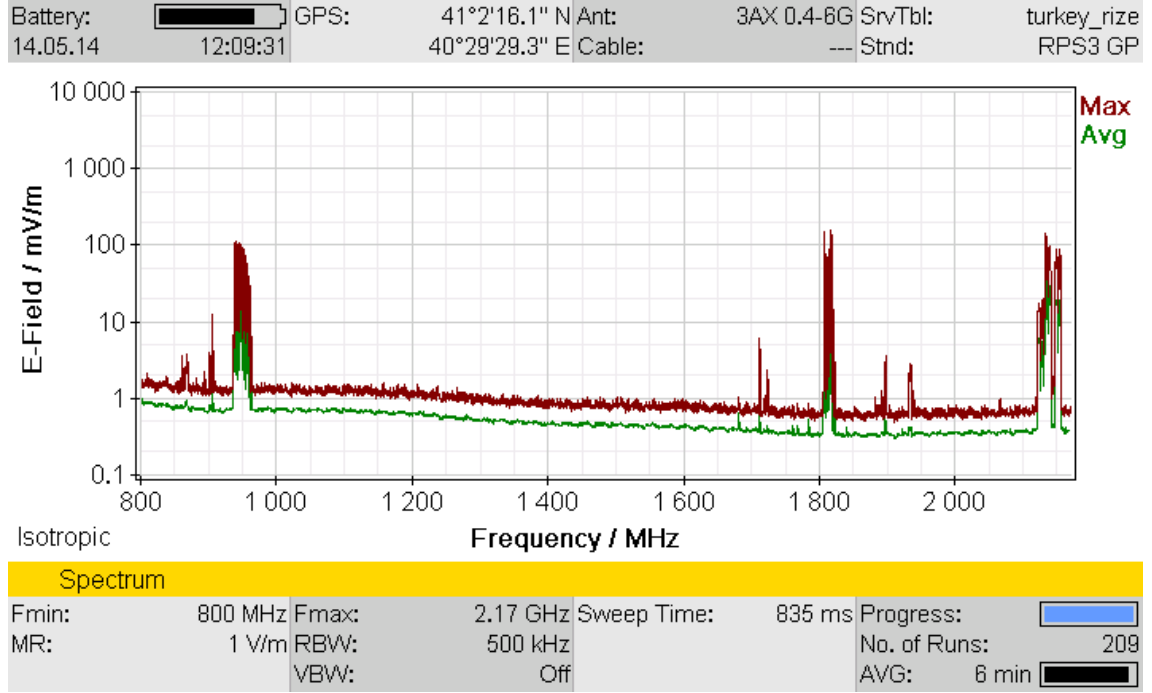
Şekil 7.3. Kampüs Girişi



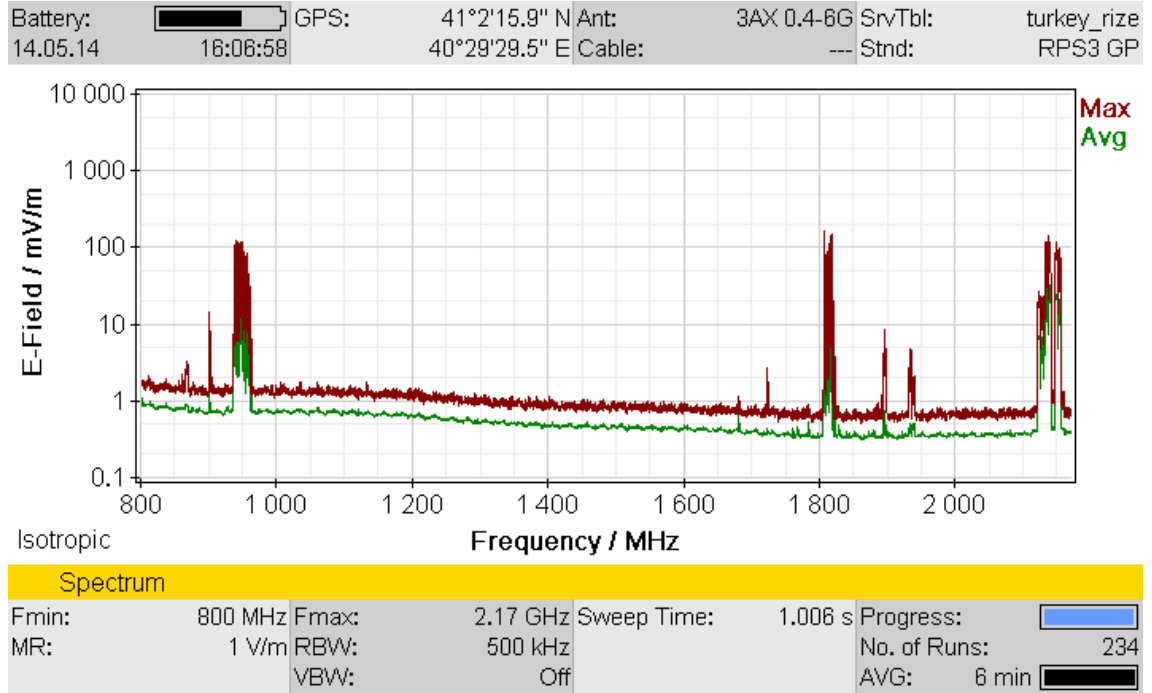
Şekil 7.4. Ölçümlerimizden Bir Görüntü

7.2. Sonuçları Yüksek Noktalardan Spektrum Örnekleri

7.2.1. Beşinci Nokta

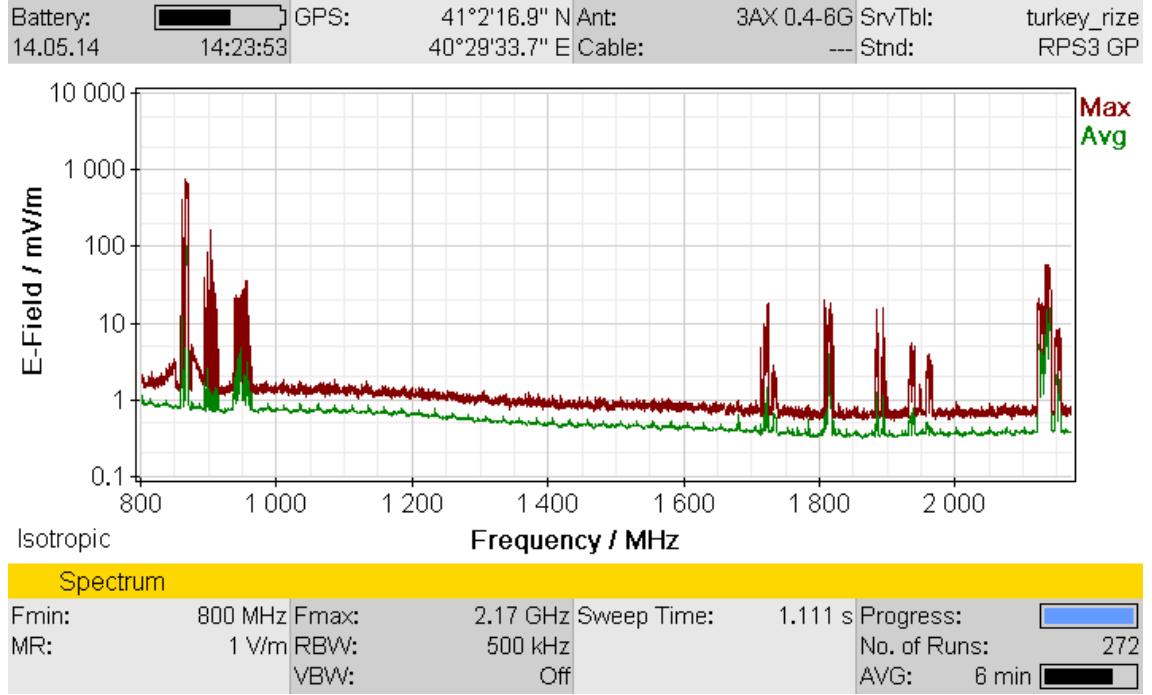


Şekil 7.5. Beşinci Nokta Spektrum 12.00 Civarı

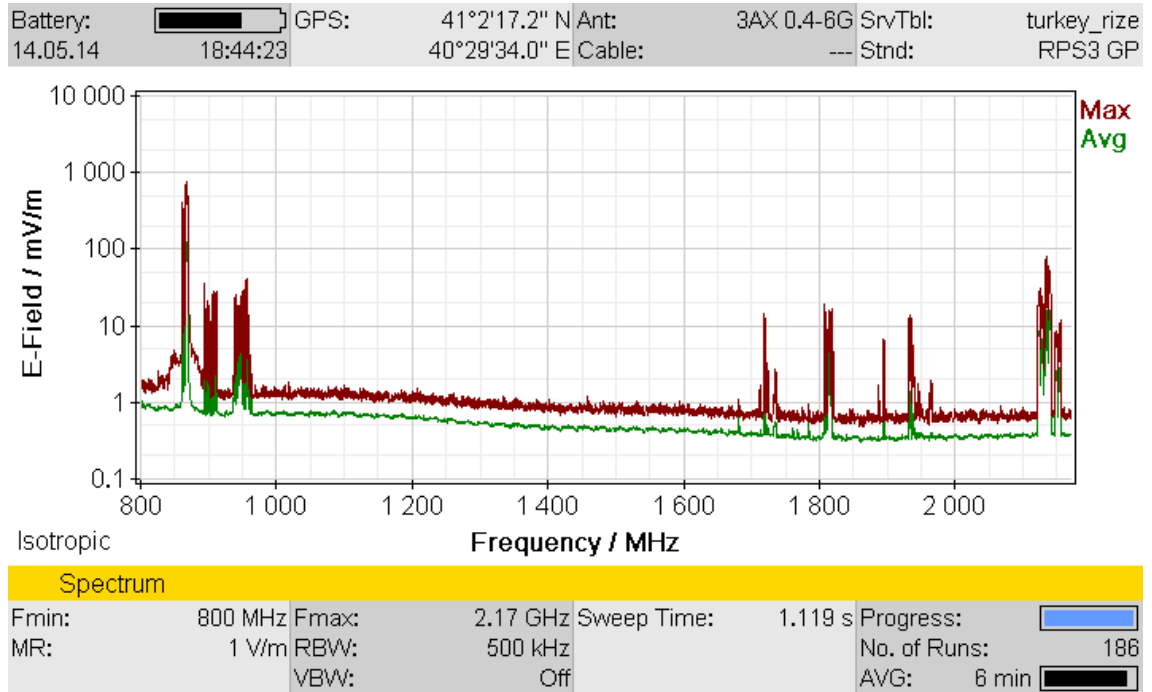


Şekil 7.6. Beşinci Nokta Spektrum 16.00 Civarı

7.2.2. Altıncı Nokta

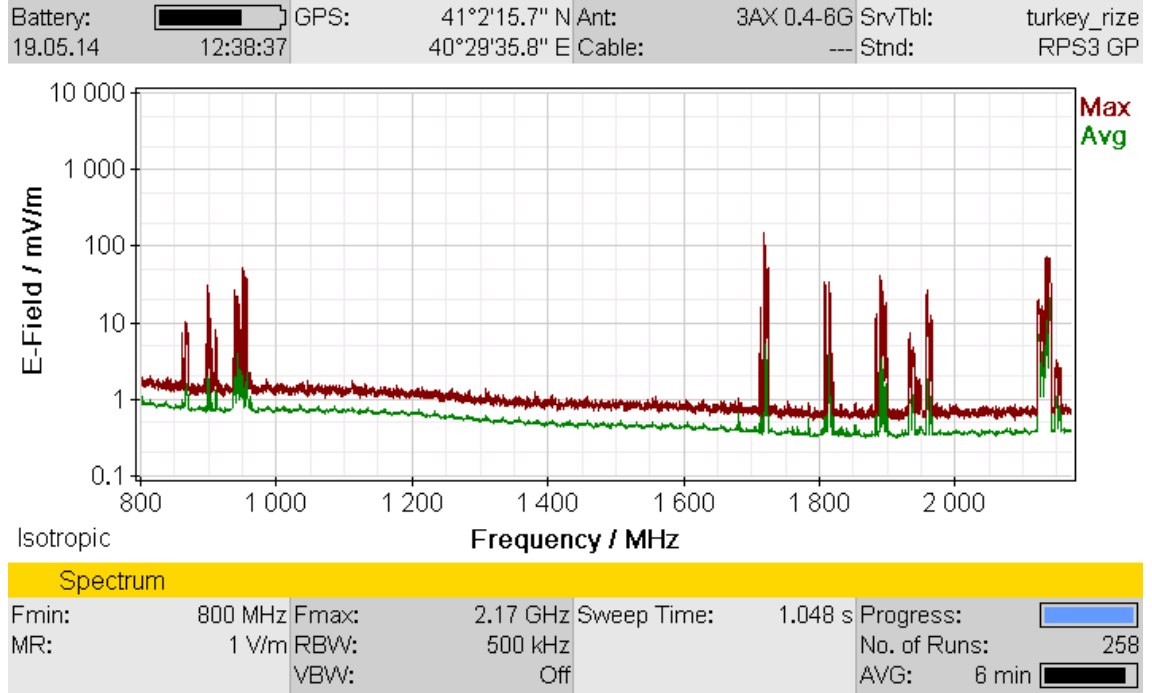


Şekil 7.7. Altıncı Nokta Spektrum 14.00 Civarı

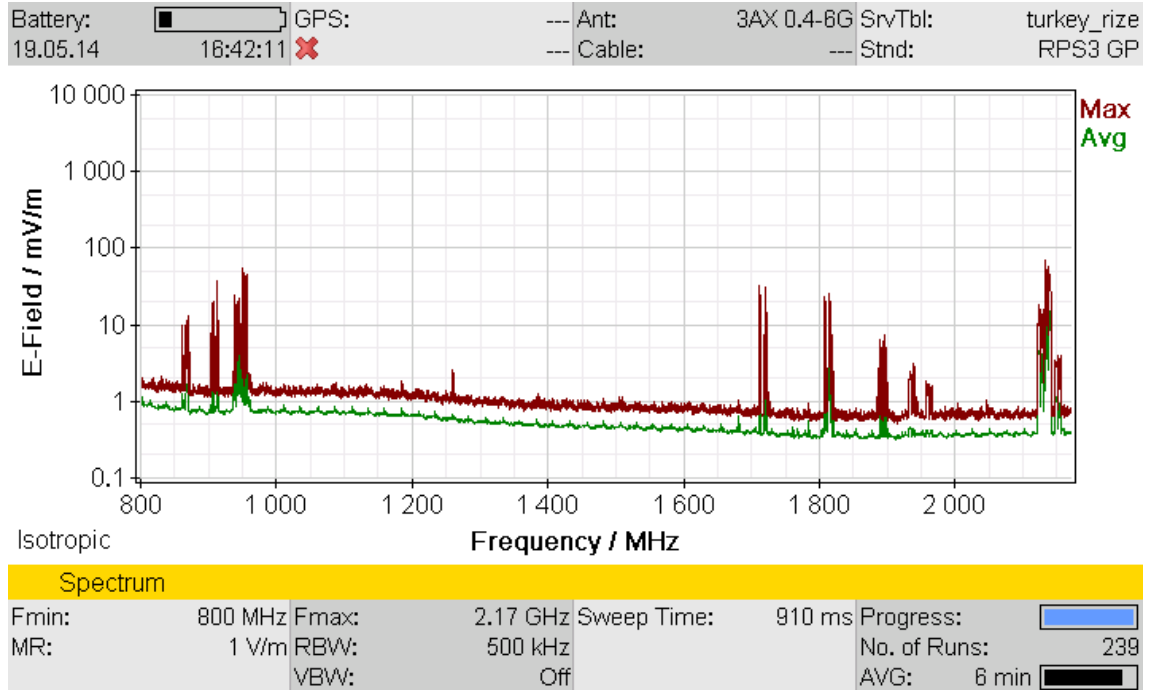


Şekil 7.8. Altıncı Nokta Spektrum 18.30 Civarı

7.2.3. On Altıncı Nokta

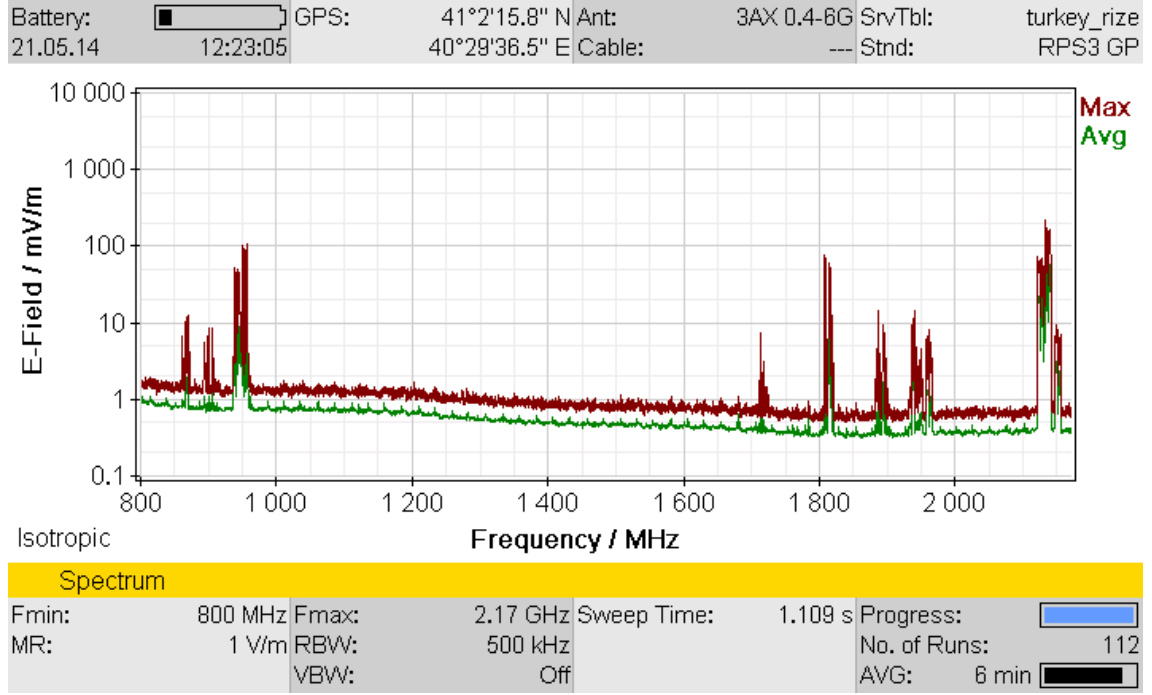


Şekil 7.9. On Altıncı Nokta Spektrum 12.00 Civarı

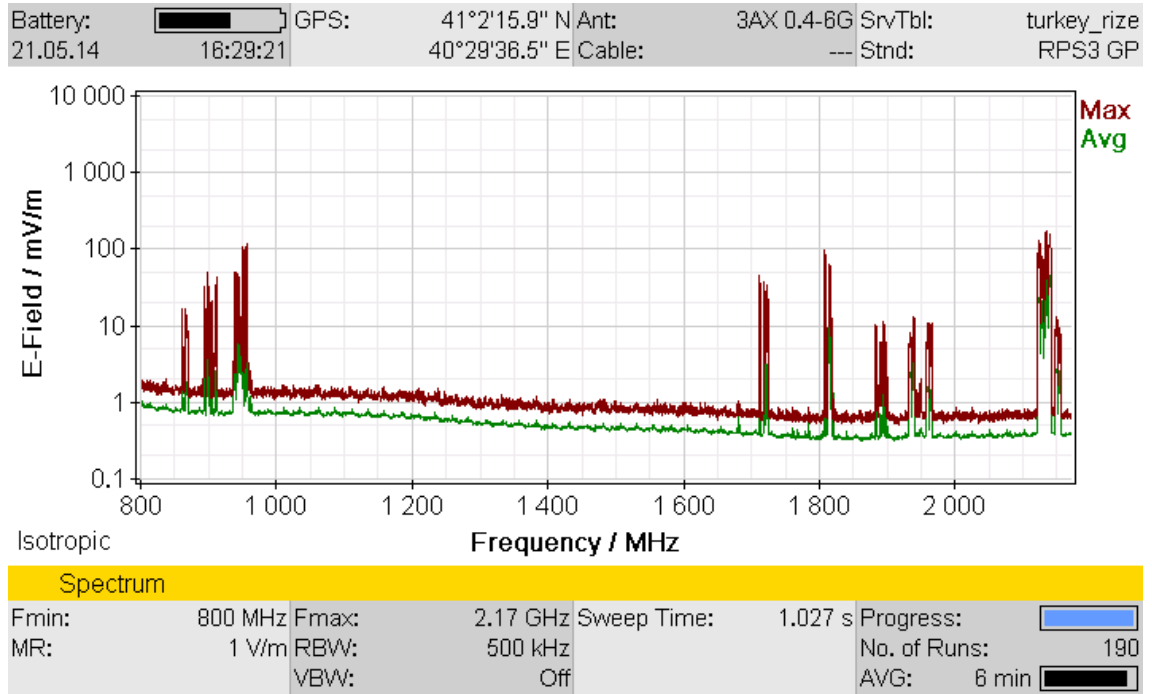


Şekil 7.10. On Altıncı Nokta Spektrum 16.00 Civarı

7.2.4. On Dokuzuncu Nokta

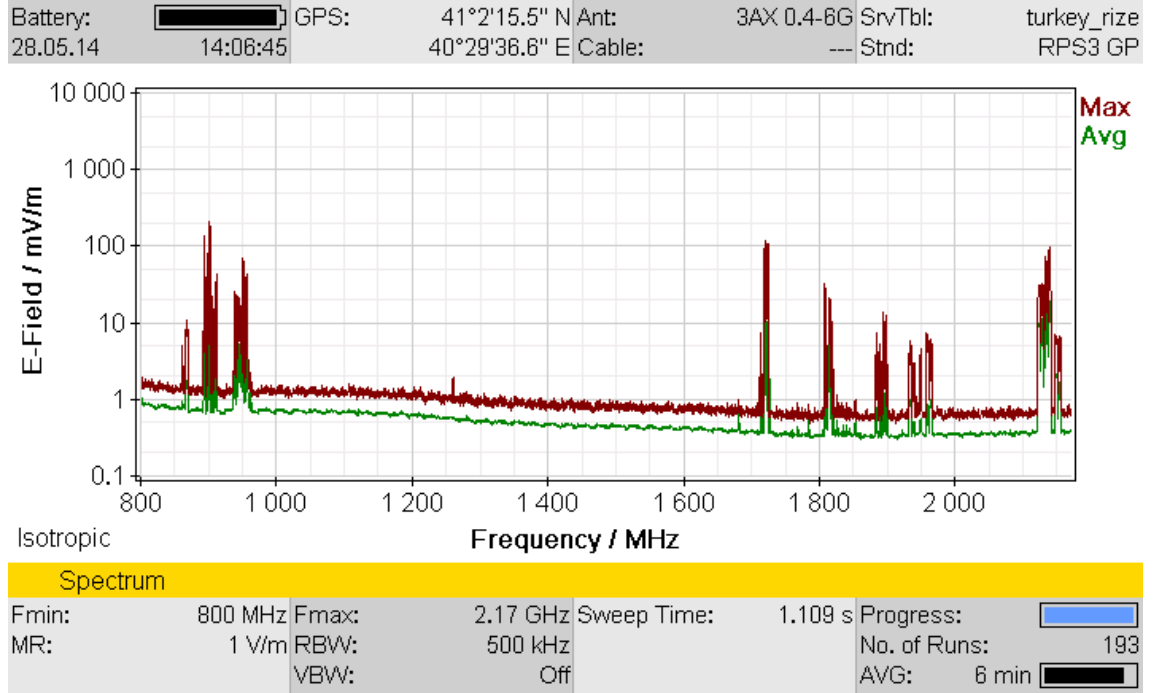


Şekil 7.11. On Dokuzuncu Nokta Spektrum 12.00 Civarı

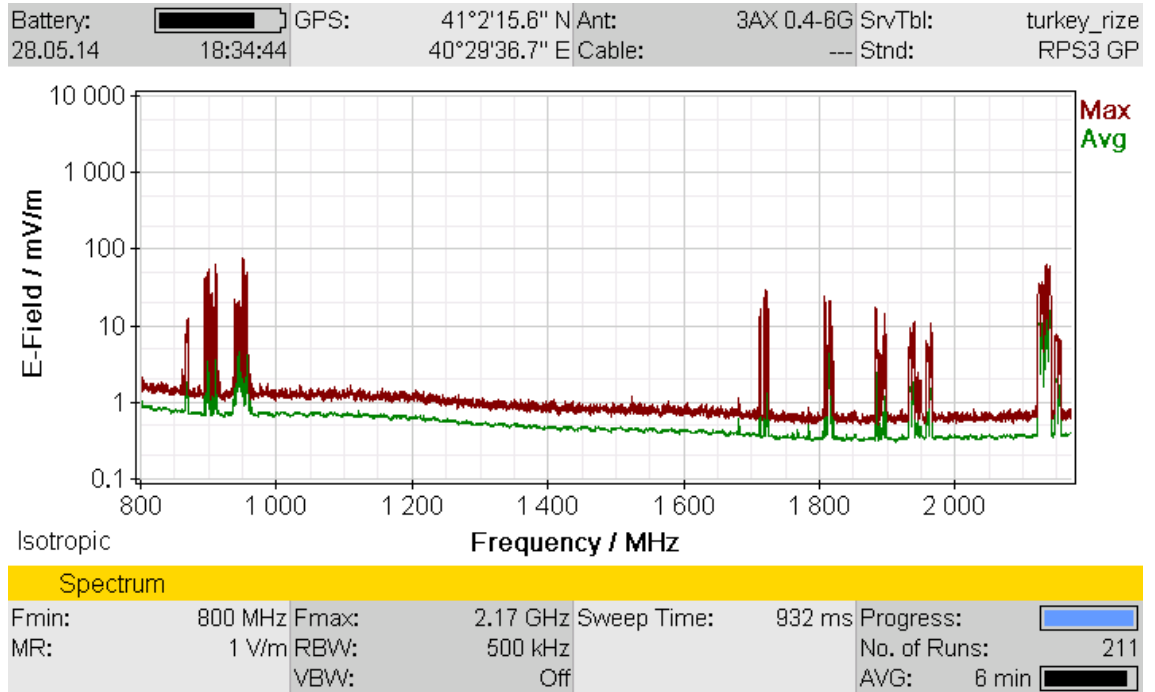


Şekil 7.12. On Dokuzuncu Nokta Spektrum 18.30 Civarı

7.2.5. Yirmi Birinci Nokta



Şekil 7.13. Yirmi Birinci Nokta Spektrum 12.00 Civarı



Şekil 7.14. Yirmi Birinci Nokta Spektrum 18.30 Civarı

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında İzmir’de doğdu. İlk öğrenimini 1995 yılında Sadettin Tezcan İlkokulu’nda; orta öğrenimini 1998 yılında Güzelyalı Ortaokulu’nda; lise öğrenimini de 2002 yılında İzmir Atatürk Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2003 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Yabancı Dil Hazırlık Programını bir yıl okuduktan sonra Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü’nde Lisans eğitime başladı ve 2009 yılında Fizik Bölümü’nü tamamladı. 2011 yılı Güz döneminde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Program’ına başladı. Yüksek Lisans eğitimi süresince 1 adet Sempozyum 2 adet kongreye sözlü sunumla katıldı. Bununla birlikte 1 adet TÜBİTAK, 2 adet BAP destekli olmak üzere 3 adet projede lisansüstü öğrencisi olarak bulundu. Ayrıca 2013 yılı Şubat ayından beri İyidere Anadolu Lisesi’nde Fizik Öğretmeni olarak görev yapmaya devam etmektedir. Orta derecede İngilizce bilmektedir.