

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MUŞ BÖLGESİNDE YÜKSEK FREKANSLI
ELEKTROMANYETİK DALGALARIN
YAYILMASININ ÖLÇÜMÜ, HARİTALANDIRILMASI
VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

TAHA ETEM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

HAZİRAN 2017

Tezin Başlığı : Muş B6lgesinde Y6ksek Frekanslı Elektromanyetik Dalgaların Yayılmasının 6l66m6, Haritalandırılması ve Değerlendirilmesi

Tezi Hazırlayan : Taha ETEM

Sınav Tarihi : 30.06.2017

Yukarıda adı ge6en tez j6rimizce değerlendirilerek Elektrik-Elektronik M6hendisliği Anabilim Dalında Y6ksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav J6risi 6yeleri

Tez Danışmanı : Yrd. Do6. Dr. Teoman KARADAĞ

İn6n6 6niversitesi

Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV

İn6n6 6niversitesi

Yrd. Do6. Dr. Ahmet Turan 6ZDEMİR

Erciyes 6niversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIG6ZEL

Enstit6 M6d6r6

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Muş Bölgesinde Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Dalgaların Yayılmasının Ölçümü, Haritalandırılması ve Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun bir biçimde gösterilenden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Taha ETEM



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MUŞ BÖLGESİNDE YÜKSEK FREKANSLI ELEKTROMANYETİK DALGALARIN YAYILMASININ ÖLÇÜMÜ, HARİTALANDIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Taha ETEM

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

133 + xii sayfa

2017

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Teoman Karadağ

Elektromanyetik dalgalar her geçen gün daha fazla hayatımıza girmektedir. İletişim sektöründe yaşanan büyük teknolojik gelişmeler kablosuz haberleşme sistemlerini daha hızlı ve yetenekli hale getirmektedir. Artan bant genişliğinin doğal bir sonucu olarak çevrede oluşan elektromanyetik güç yoğunluğu da artmaktadır. Zararlı etkileri olabilen elektromanyetik dalgaların düzenli ölçümlerle incelenmesi bir gereklilik haline gelmiştir.

Bu çalışmada Muş (Türkiye) şehir merkezinde ve Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde bulunan yüksek frekanslı elektromanyetik alan kaynaklarının yaydığı kirliliğin ölçülmesi ve uzun süreli izlemesi gerçekleştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Elektromanyetik kirlilikte meydana gelen değişiklikler kısa ve uzun zaman aralıklarında belirlenmiştir. Saatlik ölçümlerle gün içerisindeki en yoğun kullanım zamanları belirlenmiştir. Haftanın farklı günlerinde yapılan ölçümlerle günden güne elektromanyetik kirlilikte meydana gelen değişim belirlenmiştir. Farklı aylarda yapılan ölçümlerle bir seneden uzun bir süre içerisinde elektromanyetik kirlilik incelenmiştir. Spektrum analizleri sonucunda elektromanyetik alanlar farklı bölgeler için frekansa göre sınıflandırılmıştır.

Tez çalışmasına göre, ölçülen değerler uluslararası limitleri aşmasa da literatüre göre riskli sayılabilecek ölçümler elde edilmiştir. Hassas bölgeler için elektromanyetik kirliliği azaltabilecek öneriler sunulmuş ve analizleri yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Elektromanyetik alan, baz istasyonu, cep telefonu, elektromanyetik kirlilik ölçümleri

ABSTRACT

Master Thesis

MEASURING, MAPPING AND EVALUATION OF THE HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS PROPAGATION IN MUS REGION

Taha ETEM

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electric-Electronics Engineering

133 + xii pages

2017

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Teoman Karadağ

Electromagnetic waves get into our lives more and more each day. Large technologic development on communication sector makes wireless communication systems faster and skilful. Natural outcome of the increasing bandwidth raises electromagnetic power density in the environment. Examining electromagnetic waves that can be harmful with Regular measurements become a necessity.

In this study, measuring and long-term tracking of pollution radiated from the high frequency electromagnetic wave sources in Mus (Turkey) city centre and Mus Alparslan University campus is made and results are examined. Changes in the electromagnetic pollution are examined in short and long time intervals. The most intensive usage times are detected with hourly measurements. Measurements made in different days of a week are identified changes in the electromagnetic pollution day by day. Electromagnetic pollution is investigated over a year with measurements made in different months. Electromagnetic fields in the discrete areas classified based on frequency as a result of spectrum analysis.

According to the thesis study, even if measured values do not exceed international limits, some of the obtained measurements can be considered risky in respect of literature. Recommendations that can decrease electromagnetic pollution in the sensitive regions are presented and analysed.

KEYWORDS: Electromagnetic field, base station, mobile phone, electromagnetic pollution measurement

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yoğun iş temposuna rağmen desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, üzerimde büyük emek harcayan tez danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. Teoman KARADAĞ ve Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV'a, çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Zeydin PALA'ya, iş ortamında gösterdiği kolaylıklardan dolayı bölüm başkanım Prof. Dr. Refik ABDULLA'ya, eğitim hayatımda büyük katkıları olan İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği öğretim üyelerine ve hayatım boyunca her alanda olduğu gibi yüksek lisans çalışmamda da bana yardımcı olan aile bireylerime teşekkür ederim.



2015/16 numaralı Yüksek Lisans Projesi kapsamındaki desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	8
2. GENEL KAVRAMLAR.....	11
2.1 Elektrik Alan	11
2.2 Manyetik Alan.....	11
2.2 Elektromanyetik Alan	12
2.3 Elektromanyetik Spektrum	13
2.4 Elektromanyetik Dalgalar ve Temel Özellikleri	14
2.4.1 Radyo-Frekans Bandı.....	14
2.4.1 Kızılötesi Işınlr	15
2.4.2 Görünür Işık	15
2.4.3 Morötesi Işınlr	15
2.4.4 X Işınları	15
2.4.5 Gamma Işınları.....	16
2.5 Elektromanyetik Alan Maruziyetinde Limit Değerlerin Belirlenmesindeki Esaslar	16
2.5.1 Vücut ve Alanlar Arasındaki Etkileşim Mekanizması.....	20
2.5.2 Dolaylı Etkileşim Mekanizmaları	22
2.6 Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alanlar için Maruziyet Limitlerinin Belirlenmesi	23
2.6.1 Epidemiyolojik Çalışmalar.....	23
2.6.2 Üreme Sistemi Üzerindeki Etkileri	23
2.6.3 Sinir Sistemi Üzerindeki Etkileri	24

2.6.4 Endokrin Sistem Üzerindeki Etkileri	26
2.6.5 Kalp ve Damar Hastalıkları Üzerindeki Etkileri	27
2.6.5 Kanser Türleri Üzerindeki Etkileri.....	27
2.6.6 Akut Etkiler.....	28
2.6.7 Kronik Etkiler.....	28
2.6.8 Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alanlar için Güncel Maruziyet Limitleri	29
2.7 Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanlar için Maruziyet Limitlerinin Belirlenmesi	30
2.7.1 Epidemiyolojik Çalışmalar.....	30
2.7.2 Kanser Türleri Üzerindeki Etkileri.....	31
2.7.3 Üreme Sistemi Üzerindeki Etkileri	32
2.7.4 Sinir Sistemi ve Genler Üzerindeki Etkileri	33
2.8 Yüksek Frekanslı Haberleşme Sistemleri	34
2.8.1. Birinci Nesil İletişim Teknolojileri 1G	34
2.8.2. İkinci Nesil İletişim Teknolojileri 2G	35
2.8.3. Üçüncü Nesil İletişim Teknolojileri 3G	35
2.8.4. Dördüncü Nesil İletişim Teknolojileri 4G	36
2.8.5. Beşinci Nesil İletişim Teknolojileri 5G	37
2.9 Temel Elektromanyetik Dalga Denklemleri	37
2.9.1. Kompleks Yazılımlarıyla Maxwell denklemleri	37
2.9.2. Temel Elektromanyetik Dalga Denklemleri	38
2.9.3. Dipol Antenler ve Elektromanyetik Dalga Yayılımı	39
2.9.4. Uzak Alan Bölgesinde Elektromanyetik Dalga Davranışları.....	42
2.9.5. Yakın Alan ve Geçici Bölgede Elektromanyetik Dalga Davranışları.....	42
2.9.6. Anten Parametrelerinin Belirlenmesi	43
2.9.7. Yakın ve Uzak Alan Bölgesinin Sınırlarının Belirlenmesi	45
2.9.8. Yakın Alan ve Geçici Bölge Problemleri.....	48
2.8 Elektromanyetik Alan Ölçümlerinin Literatürdeki Yeri	54
3. MATERYALLER ve YÖNTEM	58
3.1 Materyaller	58
3.2 SMP2 Elektromanyetik Radyasyon Ölçüm Cihazı	58
3.3 WPT Geniş Bant Elektromanyetik Radyasyon Ölçüm Probu	59

3.4 Spectran HF-60100 Spektrum Analizörü.....	62
3.5 Ölçüm Yöntemi.....	63
3.6 Haritalandırma Teknikleri ve Doğal Komşuluk Enterpolasyon Yöntemi	65
4. BULGULAR.....	68
4.1 Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsünde Genel Durum.....	68
4.2 Muş Şehir Merkezinde Yapılan Ölçümler	96
4.3 Muş Şehir Merkezinde 24 Saatlik Ölçüm Sonuçları.....	107
4.4 Bir Baz İstasyonundan Farklı Yönlerde Yapılan Ölçüm Sonuçları	109
4.5 Baz İstasyonu Antenlerinin Yayıdığı Elektromanyetik Alanın Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi.....	110
4.6 Basit Dipol Işınımına Göre Elektromanyetik Alanın Değerlendirilmesi.....	115
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	119
6. KAYNAKLAR	125
ÖZGEÇMİŞ.....	132

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	21 Mart 2014 tarihi itibari ile ülkeler bazında dünyada 2G, 3G ve 4G sistemlerinin kullanımı.....	2
Şekil 1.2.	02 Eylül 2014 tarihi itibari ile ülkeler bazında dünyada 2G, 3G ve 4G sistemlerinin kullanımı.....	2
Şekil 1.3.	15 Mayıs 2017 tarihi itibari ile ülkeler bazında dünyada 2G, 3G ve 4G sistemlerinin kullanımı.....	3
Şekil 1.4.	Türkiye’de üçer aylık toplam arama miktarları,(milyar dakika).....	3
Şekil 1.5.	Türkiye’de üçer aylık toplam arama miktarlarının dağılımı,(milyar dakika).....	4
Şekil 1.6.	2014 yılı ülkelere göre abone başına aylık görüşme miktarı,(dk/ay).....	5
Şekil 1.7.	2016 yılı ülkelere göre abone başına aylık görüşme miktarı,(dk/ay).....	5
Şekil 2.1.	Elektrik alan çizgileri.....	11
Şekil 2.2.	Manyetik alan çizgileri	12
Şekil 2.3.	Elektromanyetik dalga yayılımı.....	13
Şekil 2.4.	Elektromanyetik spektrum.....	13
Şekil 2.5.	Elektrik (Hertz) dipolün koordinatları ve prensipleri.....	40
Şekil 2.6.	Hertz dipolünün dalga dağılımının kutupsal eğrileri.....	44
Şekil 2.7.	Bir dipol antenin yakın alan bölgesi geometrisi.....	46
Şekil 2.8.	Bir dipol antenin uzak alan bölgesi geometrisi.....	47
Şekil 2.9.	Baz istasyonunun ışıma şeması.....	48
Şekil 2.10.	Bir baz istasyonunun elektromanyetik alan yayılım bölgeleri.....	49
Şekil 2.11.	r , D ve λ parametrelerine göre elektromanyetik alan yayılım bölgeleri.....	51
Şekil 3.1.	SMP2 EMR ölçüm cihazı.....	58
Şekil 3.2.	WPT mobil frekans probu.....	61
Şekil 3.3.	SMP2 ekran görüntüsü örneği.....	61
Şekil 3.4.	SMP2 tarafından kaydedilen örnek ölçüm verileri.....	62
Şekil 3.5.	Spectran HF-60100 spektrum analizörü.....	62
Şekil 3.6.	Sabit noktasal ölçüm örneği.....	64
Şekil 3.7.	Dinamik ölçüm örneği.....	65
Şekil 3.8.	Doğal Komşuluk Enterpolasyonu varsayım şeması.....	66
Şekil 3.9.	Map Info 9.5 kullanıcı arayüzü.....	66
Şekil 4.1.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde belirlenen ölçüm noktalarının genel görünümü.....	69
Şekil 4.2.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2015 yılı ekim ayı ölçüm sonuçları.....	69
Şekil 4.3.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2015 yılı kasım ayı ölçüm sonuçları.....	70
Şekil 4.4.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2015 yılı aralık ayı ölçüm sonuçları.....	71
Şekil 4.5.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı şubat ayı ölçüm sonuçları.....	71
Şekil 4.6.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı nisan ayı ölçüm sonuçları.....	72

Şekil 4.7.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı mayıs ayı ölçüm sonuçları.....	73
Şekil 4.8.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı haziran ayı ölçüm sonuçları.....	73
Şekil 4.9.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı eylül ayı ölçüm sonuçları.....	74
Şekil 4.10.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı ekim ayı ölçüm sonuçları.....	75
Şekil 4.11.	Üniversite kampüsü dekanlık binası için bir haftalık ölçüm grafiği.....	77
Şekil 4.12.	Üniversite kampüsü MAE derslikleri için bir haftalık ölçüm grafiği.....	78
Şekil 4.13.	Üniversite kampüsü HBV derslikleri için bir haftalık ölçüm grafiği.....	80
Şekil 4.14.	Üniversite kampüsü lojmanlar için bir haftalık ölçüm grafiği.....	81
Şekil 4.15.	Üniversite kampüsü ilkokul için bir haftalık ölçüm grafiği.....	82
Şekil 4.16.	Üniversite kampüsü spor salonu için bir haftalık ölçüm grafiği.....	83
Şekil 4.17.	Üniversite kampüsü kafeterya için bir haftalık ölçüm grafiği.....	84
Şekil 4.18.	Üniversite kampüsü yemekhane için bir haftalık ölçüm grafiği.....	85
Şekil 4.19.	Üniversite kampüsü kütüphane için bir haftalık ölçüm grafiği.....	86
Şekil 4.20.	Üniversite kampüsü meydanı için bir haftalık ölçüm grafiği.....	87
Şekil 4.21.	Üniversite kampüsü rektörlük için bir haftalık ölçüm grafiği.....	88
Şekil 4.22.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü dekanlık binası önü spektrum analizi sonuçları.....	89
Şekil 4.23.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü MAE derslikleri önü spektrum analizi sonuçları.....	89
Şekil 4.24.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü HBV derslikleri önü spektrum analizi sonuçları.....	90
Şekil 4.25.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü lojmanlar önü spektrum analizi sonuçları	91
Şekil 4.26.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü ilkokul ve anaokulu önü spektrum analizi sonuçları.....	92
Şekil 4.27.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü spor salonu önü spektrum analizi sonuçları.....	92
Şekil 4.28.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü merkezi kafeterya önü spektrum analizi sonuçları.....	93
Şekil 4.29.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü yemekhane binası önü spektrum analizi sonuçları.....	94
Şekil 4.30.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü kütüphane binası önü spektrum analizi sonuçları.....	94

Şekil 4.31.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü üniversite meydanı spektrum analizi sonuçları.....	95
Şekil 4.32.	Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü rektörlük binası önü spektrum analizi sonuçları.....	96
Şekil 4.33.	Muş şehir merkezinde spektrum analizi için seçilen noktalar.....	97
Şekil 4.34.	Muş şehir merkezinde 1. nokta spektrum analizi sonuçları.....	97
Şekil 4.35.	Muş şehir merkezinde 2. nokta spektrum analizi sonuçları.....	98
Şekil 4.36.	Muş şehir merkezinde 3. nokta spektrum analizi sonuçları.....	99
Şekil 4.37.	Muş şehir merkezinde 4. nokta spektrum analizi sonuçları.....	99
Şekil 4.38.	Muş şehir merkezinde 5. nokta spektrum analizi sonuçları.....	100
Şekil 4.39.	Muş şehir merkezinde 6. nokta spektrum analizi sonuçları.....	100
Şekil 4.40.	Muş şehir merkezinde 7. nokta spektrum analizi sonuçları.....	101
Şekil 4.41.	Muş şehir merkezinde 8. nokta spektrum analizi sonuçları.....	102
Şekil 4.42.	Muş şehir merkezinde 9. nokta spektrum analizi sonuçları.....	102
Şekil 4.43.	Muş şehir merkezinde 10. nokta spektrum analizi sonuçları.....	103
Şekil 4.44.	Muş şehir merkezi ile üniversite arası 3 boyutlu haritası.....	104
Şekil 4.45.	Muş şehir merkezi ile üniversite arası contour haritası.....	104
Şekil 4.46.	Muş şehir merkezi ile üniversite arası 2 boyutlu haritası.....	105
Şekil 4.47.	Muş şehir merkezi 3 boyutlu haritası.....	105
Şekil 4.48.	Muş şehir merkezi contour haritası.....	106
Şekil 4.49.	Muş şehir merkezi 2 boyutlu haritası.....	106
Şekil 4.50.	Muş şehir merkezindeki elektromanyetik kirliliğin gerçek harita üzerinde görünümü.....	107
Şekil 4.51.	Şehir merkezindeki bir evde 24 saatlik ölçüm verileri.....	108
Şekil 4.52.	Bir baz istasyonu çevresinde iki yönlü ölçümler.....	109
Şekil 4.53.	Mavi noktalarda yapılan ölçüm sonuçları.....	109
Şekil 4.54.	Kırmızı noktalarda yapılan ölçüm sonuçları.....	110
Şekil 4.55.	Muş bölgesinde baz istasyonu anteninden yayılan elektrik alanı değişiminin teorik ve ölçüm sonuçları	113
Şekil 4.56.	Simetrik dipolün koordinat sisteminde görüntüsü	117
Şekil 5.1.	Üniversite kampüsünde frekans bantlarına göre elektrik alan değerlinin yüzdelik oranları.....	122
Şekil 5.2.	Muş şehir merkezinde frekans bantlarına göre elektrik alan değerlinin yüzdelik oranları.....	123

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	SI birim sistemine göre elektrik, manyetik, elektromanyetik ve dozimetrik büyüklükler.....	19
Çizelge 2.2.	100 kHz frekansına kadar olan elektrik ve manyetik alanlar için ICNIRP tarafından belirlenen limit değerler.....	29
Çizelge 2.3.	BTK tarafından belirlenen bazı limit değerler.....	30
Çizelge 2.4.	Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların genler üzerindeki etkileri.....	33
Çizelge 2.5.	Bir baz istasyonunun yakın alan ve uzak alan bölgesi sınırları.....	48
Çizelge 2.6.	Yakın alan ve uzak alan bölgelerinde ölçüm kıyaslaması [83].....	52
Çizelge 2.7.	İki ve üç boyutlu anten modelleri arasındaki ilişki.....	53
Çizelge 3.1.	Wavecontrol SMP2 EMR ölçüm cihazı teknik verileri.....	59
Çizelge 3.2.	Wavecontrol WPT geniş bant ölçüm probu.....	60
Çizelge 3.3.	Spectran HF-60100 Spektrum Analizörü Teknik Verileri.....	63
Çizelge 4.1.	Ölçüm noktalarının açıklaması.....	68
Çizelge 4.2.	Üniversite kampüsü içerisinde yapılan ölçümlerde elde edilen maksimum ve minimum anlık elektrik alan şiddeti değerleri.....	76
Çizelge 4.3.	Üniversite kampüsü içerisinde dekanlık binası için bir haftalık ölçüm değerleri.....	77
Çizelge 4.4.	Üniversite kampüsü içerisinde Mehmet Akif Ersoy derslikleri için bir haftalık ölçüm değerleri.....	78
Çizelge 4.5.	Üniversite kampüsü içerisinde Hacı Bektaş Veli derslikleri için bir haftalık ölçüm değerleri.....	79
Çizelge 4.6.	Üniversite kampüsü içerisinde lojmanlar için bir haftalık ölçüm değerleri.....	80
Çizelge 4.7.	Üniversite kampüsü içerisinde ilkokul için bir haftalık ölçüm değerleri.....	81
Çizelge 4.8.	Üniversite kampüsü içerisinde spor salonu için bir haftalık ölçüm değerleri.....	82
Çizelge 4.9.	Üniversite kampüsü içerisinde merkezi kafeterya için bir haftalık ölçüm değerleri.....	83
Çizelge 4.10.	Üniversite kampüsü içerisinde yemekhane için bir haftalık ölçüm değerleri.....	84
Çizelge 4.11.	Üniversite kampüsü içerisinde kütüphane için bir haftalık ölçüm değerleri.....	86
Çizelge 4.12.	Üniversite kampüsü içerisinde meydan için bir haftalık ölçüm değerleri.....	87
Çizelge 4.13.	Üniversite kampüsü içerisinde rektörlük için bir haftalık ölçüm değerleri.....	88
Çizelge 4.14.	Ortalama elektrik alan şiddeti değerinin antenden olan uzaklığa göre değişimi[113].....	114
Çizelge 4.15.	Baz istasyonu etrafındaki bölgelerde elektromanyetik alanın özellikleri.....	115

SİMGELER VE KISALTMALAR

1G	Birinci nesil
2G	İkinci nesil
3G	Üçüncü nesil
4G	Dördüncü nesil
5G	Beşinci nesil
LAN	Local area network
WLAN	Wireless local area network
GSM	Global sytem for mobile communication
UMTS	Universal mobile telecommunications system
LTE	Long-term evolution
RF	Radio frequency
ELF	Extremely low frequency
FEM	Finite element method
BEM	Boundary element method
FDTD	Finite-difference time-domain
ANN	Artificial neural networks
MLSR	Multivariate least squares regression
EMA	Elektromanyetik alan
EMK	Elektromotor kuvvet
FM	Frequency modulation
AM	Amplitude modulation
VHF	Very high frequency
UHF	Ultra high frequency
FCC	Federal haberleşme komisyonu
BTK	Bilgi teknolojileri kurumu
IRPA	Uluslararası radyasyondan korunma topluluğu
INIRC	Uluslararası non-iyonize radyasyon komitesi
WHO	Dünya sağlık örgütü
ICRP	Uluslararası radyolojik korunma komisyonu
ICNIRP	Uluslararası non-iyonize radyasyondan korunma komisyonu
MR	Manyetik rezonans
SA	Özgül soğrulma
SAR	Özgül soğrulma oranı
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
GHZ	Gigahertz
2D	İki boyutlu
3D	Üç boyutlu
F	Kuvvet
q	Elektriksel yük
μ	Manyetik geçirgenlik
ϵ	Dielektrik geçirgenlik
$\vec{E}$	Elektrik alan vektörü
$\vec{H}$	Manyetik alan vektörü
$\vec{D}$	Deplasman akımı vektörü

$\vec{S}$	Güç yoğunluğu vektörü
Z	Dalga empedansı
E	Elektrik alan şiddeti
H	Manyetik alan şiddeti
L	Anten boyu
ℓ	Yarı dalga boyu
β	Dalganın faz katsayısı
ξ	İndirgenmiş dalga empedansı katsayısı
G	Anten kazancı
λ	Dalga boyu
c	Işık hızı
J	Akım yoğunluğu
σ	Elektriksel iletkenlik
I	Akım
V	Gerilim
f	Frekans
T	Tesla
ρ	Hacimsel yük yoğunluğu

1. GİRİŞ

Elektromanyetik dalgaların keşfedilmesi 1865 yılında İngiliz fizikçi James Maxwell tarafından gerçekleştirildi. Maxwell, hava ortamında ışık hızında yayılabilecek radyo dalgalarının olabileceğini keşfetti. 1888 yılında Heinrich Rudolf Hertz, radyo dalgalarının oluşumunu, kırılma ve girişim gibi özelliklerinin ispatlanmasını ve yayılma hızlarının tayinini gerçekleştirerek elektromanyetik dalgaları tam anlamıyla ispatlamış oldu. Bu tarihten sonra kablosuz iletişim için radyo frekans dalgalarının kullanılmasıyla ilgili çalışmalar çoğalmıştır. İlk olarak Guglielmo Marconi bir noktadan diğerine kablosuz şekilde sinyalleri ileten ve bunu uygulamaya geçirerek mors alfabesinde ilk kablosuz mesajı ileten kişi olmuştur.

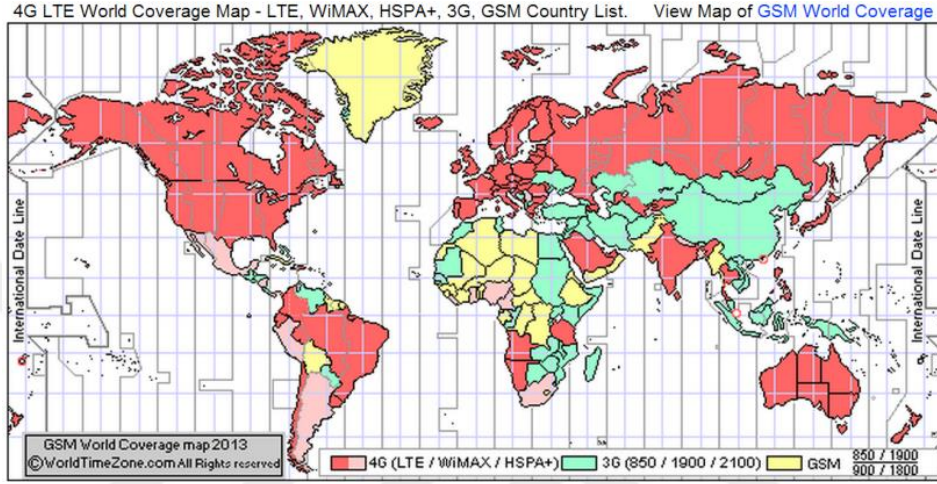
İşitme engelliler üzerinde çalışmalar yapan Alexander Graham Bell yardımcısı Thomas Watson'la birlikte 1876 yılında ilk telefon görüşmesini yaptı. Böylece telefonun yüzyıllar sürecektir olan serüveni başlamış oldu.

24 Aralık 1906 günü Massachusetts, Amerika'da ilk radyo yayını 140 metre uzunluğundaki bir antenle yapılmaya başlandı. Daha sonra İngiltere ve tüm dünyaya yayılan radyo yayınları günden güne popüleritesini arttırdı. John Logie Baird 1926 yılında ilk kez bir televizyon görüntüsünü elektromanyetik dalgalarla aktarmayı başardı. 1929 yılında ise ilk kez BBC sınırlı bir kitleye ulaşan ilk ilkel TV için yayın yapmaya başladı. 1936 yılına gelindiğinde artık ilk düzenli TV yayını yapılmaya başlanmıştır.

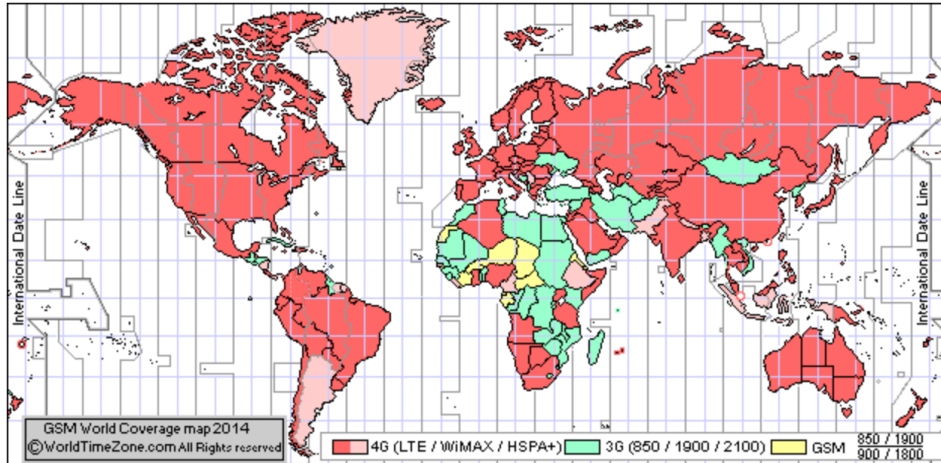
İlk cep telefonu fikri 1947 yılında ortaya çıksa da o zamanki teknolojiyle bunu hayata geçirmek mümkün olmamıştır. İlk cep telefonu görüşmesi Martin Cooper tarafından 1973 yılında yapılmıştır. Martin Cooper modern cep telefonunun mucidi sayılmaktadır. 1977 yılında ise ilk seri üretim cihaz hayata geçirilerek sınırlı sayıda piyasaya sürülmüştür. Bu tarihten sonra büyük gelişmeler gösteren cep telefonları günümüzde her işimizi halledebildiğimiz, arama yapma dışında mesaj atabilen ve internet bağlantısı olan akıllı telefonlara dönüşmüştür.

Teknolojinin ilerlemesiyle günlük hayat içerisinde kullandığımız cep telefonu dışındaki elektrikle çalışan cihazlar da her geçen gün artmaktadır. Elektrik enerjisiyle çalışan neredeyse tüm cihazlar çeşitli frekanslarda elektromanyetik dalgalar yaymaktadır.

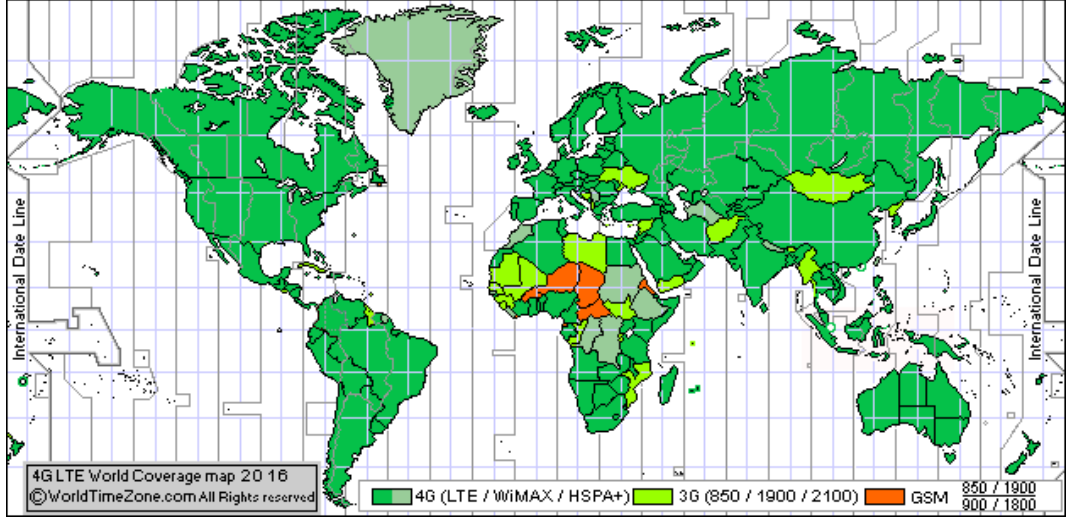
Hem cihaz sayısındaki artış, hem de mevcut teknolojilerin gelişmesiyle her geçen gün insanlar tarafından yapay olarak oluşturulan elektromanyetik dalgalar çoğalmaktadır. Modern hayatın bir sonucu olarak yaşam alanlarının neredeyse tamamı elektronik cihazlar ve bunların yaymış olduğu elektromanyetik alanlarla kuşatılmıştır. Özellikle cep telefonları tüm gün yanımızda olmaları ve vücuda en yakın şekilde kullanılmaları sebebiyle, göz veya kulak gibi bir organdan neredeyse farksız şekilde yaşamımızda yerini almıştır.



Şekil 1.1. 21 Mart 2014 tarihi itibari ile ülkeler bazında dünyada 2G, 3G ve 4G sistemlerinin kullanımı

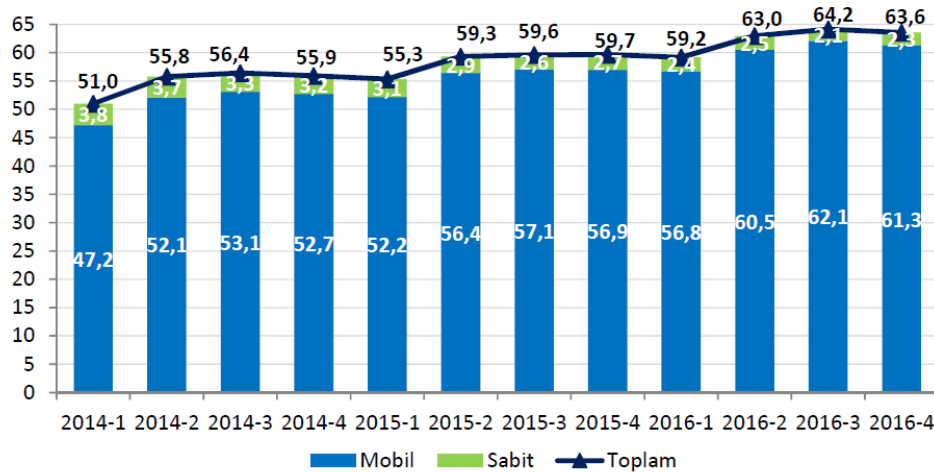


Şekil 1.2. 02 Eylül 2014 tarihi itibari ile ülkeler bazında dünyada 2G, 3G ve 4G sistemlerinin kullanımı



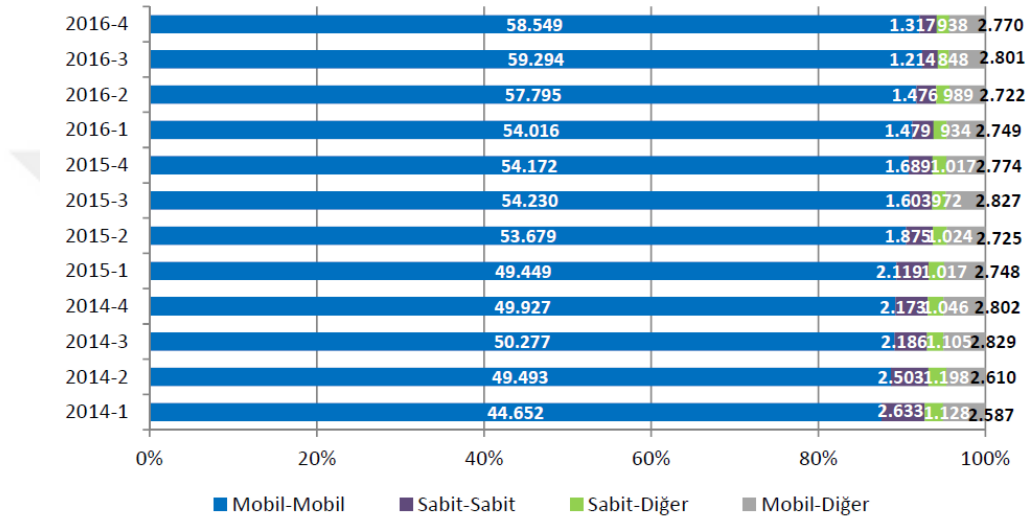
Şekil 1.3. 15 Mayıs 2017 tarihi itibari ile ülkeler bazında dünyada 2G, 3G ve 4G sistemlerinin kullanımı

Şekil 1.1, Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'te dünya üzerindeki ülkelerin kullanmakta olduğu 2G, 3G ve 4G sistemleri görülmektedir. 2014 yılı içerisinde Çin, Özbekistan, Irak, Umman, Cezayir, Endonezya, Papua Yeni Gine, Güney Afrika, Venezüella, Paraguay ve Grönland 3. nesil sistemlerden 4. Nesil sistemlere geçiş yapmıştır. 2017 yılının Mayıs ayına geldiğimizde ise Amerika kıtalarında sadece Guyana, Küba ve El Salvador Avrupa kıtasında ise Ukrayna, Bosna Hersek ve Arnavutluk dışında 4G teknolojisini kullanmayan ülke kalmamıştır. Afrika'da bulunan Burkina Faso, Nijer, Çad, Orta Afrika Cumhuriyeti ve Eritre dışında 2G kullanan ülke dünya üzerinde kalmamıştır.



Şekil 1.4. Türkiye'de üçer aylık toplam arama miktarları,(milyar dakika)

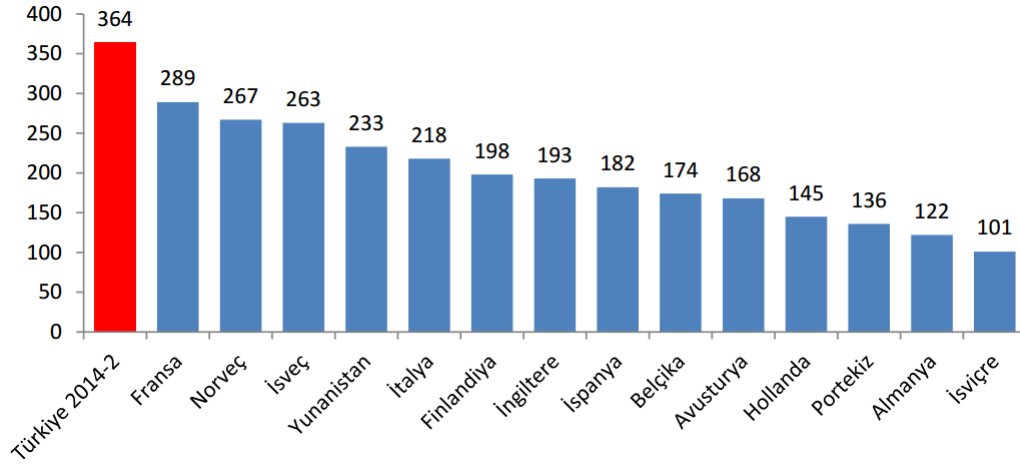
Dönem dönem yapılan telefon görüşmesi miktarları 2014 yılının ilk çeyreğinden itibaren Şekil 1.4'te gösterilmiştir. 2016 yılının son döneminde sabit telefonlarla yapılan görüşme miktarı toplamda 2,25 milyar dakika iken cep telefonlarıyla yapılan görüşme miktarı 61,3 milyar dakika olmuştur. Önceki döneme göre cep telefonlarıyla yapılan görüşmeler %1,25 oranında azalmış, sabit telefonlarla yapılan görüşmeler ise yaklaşık %9,37 oranında artmıştır. Seneler içerisinde sürekli artan mobil görüşme trafiğine karşın sabit hatlarla yapılan görüşmeler sürekli azalmaktadır.[1].



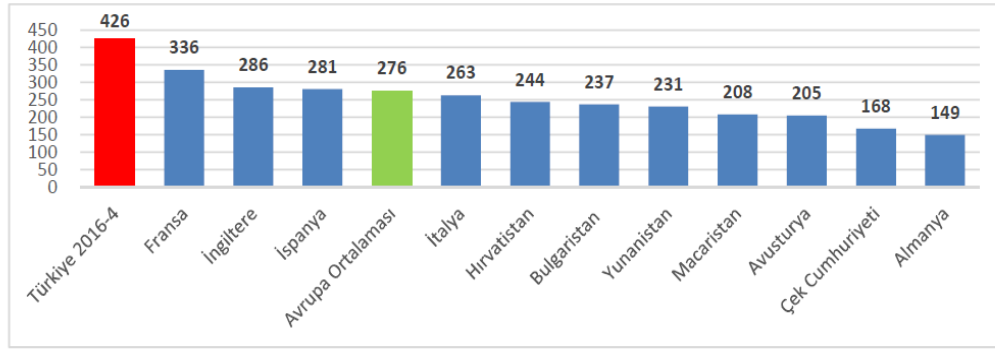
Şekil 1.5. Türkiye’de üçer aylık toplam arama miktarlarının dağılımı,(milyar dakika)

Şekil 1.5’te haberleşme sektöründe hizmet veren tüm servis sağlayıcılar tarafından ülkemizde gerçekleştirilen tüm telefon görüşmelerinin dönemlere göre dağılımı trafiğin gerçekleştiği yöne göre verilmiştir. Cep telefonları arasındaki görüşmeler 2016 yılının son üç aylık döneminde bir önceki yılın aynı dönemine göre yaklaşık olarak %8.1 oranında artarken, sabit telefonlar arasındaki görüşmeler %22 oranında azalmıştır. Ancak 2016 yılı üçüncü çeyreğine göre cep telefonları arasındaki görüşmeler %1,26 oranında azalmış, sabit telefonlar arasındaki görüşmeler ise %8,5 oranında artmıştır [1].

Toplam trafiğin %92.1 gibi çok büyük bir kısmını mobil telefonların kendi aralarındaki görüşmelerden oluştuğu ve genel olarak bu oranın sürekli arttığı görülmektedir.



Şekil 1.6. 2014 yılı ülkelere göre abone başına aylık görüşme miktarı,(dk/ay)



Şekil 1.7. 2016 yılı ülkelere göre abone başına aylık görüşme miktarı,(dk/ay)

Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’de ülke bazlı aylık abone başına ortalama telefon görüşmesi süreleri verilmiştir. 2014 yılının ikinci çeyreğinde 362 dakika olan ortalama aylık görüşme süresi 2016 yılının dördüncü çeyreğinde 426 dakikaya çıkmıştır. Türkiye Avrupa ülkeleri içerisinde her zaman ortalama görüşme süresi en fazla olan ülke olmuştur [1].

Yapılan birçok çalışma iletişim sistemleri tarafından yayılan elektromanyetik dalgaların canlı sağlığına çeşitli etkiler yapabileceğini göstermiştir [2]. Olumlu etkileri inceleyen sınırlı sayıdaki çalışmaya karşın çok sayıda canlı yaşamını olumsuz etkileyen bulguların yer aldığı bilimsel çalışma yapılmıştır. Net çıkarımları yapmak için hala yeterli araştırmanın yapılmadığı bir alan olsa da elektromanyetik alanlara yüksek güçlerde ve uzun süre maruz kalmanın olumsuzluklara sebep olduğu artık tüm otoriteler tarafından desteklenmektedir.

Elektromanyetik kirliliğin canlı yaşamı üzerine etkilerini araştırmak amacıyla son yıllarda da birçok çalışma yapılmakta ve sonuçlar tartışılmaktadır [2]. Bu araştırmaların büyük çoğunluğu, baz istasyonları ve cep telefonlarının kanser ile

olan ilişkisini inceleyen çalışmalardır. Epidemiyolojik çalışmaların büyük bir bölümü baz istasyonu sayısı ve cep telefonu kullanım yoğunluğundaki artış ile kanser arasında ilişki kurmayı başarmış olsa da [3-7] tam tersi sonuçlara ulaşan çalışmaların sayısı da yeterince fazladır [8-11]. Bu nedenden dolayı elektromanyetik alanların sağlık üzerindeki etkileri güncel bir konu olarak kalmaktadır. Yaban hayatındaki doğal yaşam üzerindeki elektromanyetik alan etkilerini inceleyen en kapsamlı çalışma Alfonso Balmori tarafından yapılmıştır [12].

Elektromanyetik alanların etkilerini inceleyen bir çalışma literatürde sunulmuştur. Bu çalışmada hem düşük hem yüksek frekanstaki iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik alanların etkilerini 2007 yılından günümüze kadar inceleyen 173 çalışmanın özeti sunulmuştur. Radyo Frekans (RF) bandındaki elektromanyetik alanların etkilerini inceleyen 114 genetik çalışmanın 74'ü bozucu etkilerin olduğunu 40'ı ise herhangi bir etki olmadığı sonucuna varmıştır. Yani RF elektromanyetik alanları inceleyen çalışmaların %65'i bu elektromanyetik alanları zararlı bulurken, %35'i herhangi bir zararı olmadığını belirlemiştir. Aynı çalışmada Çok Düşük Frekanslı (ELF) elektromanyetik alanların etkilerini inceleyen 59 çalışmanın 49'u zararlı etkilerin görüldüğünü, 10'u ise hiçbir etkinin görülmediğini belirtmiştir. Yani ELF elektromanyetik alanların etkilerini inceleyen çalışmaların %82'si elektromanyetik alanları zararlı bulurken, %18'i herhangi bir zararının olmadığını belirlemiştir [2].

RF ve ELF elektromanyetik alanların etkileri incelendiğinde oldukça benzer sonuçlar alınmıştır. Bu elektromanyetik alanların çok farklı frekanslarda ve enerji yapısında olmalarına rağmen benzer etkiler göstermeleri şaşırtıcı bir durumdur. Benzer genetik, nörokimyasal ve davranışsal etkilerin görüldüğü çalışmalar literatürde mevcuttur [13-19]. Böylece frekanstan bağımsız olarak elektromanyetik alanların canlılar üzerinde temel bir etkileşim mekanizmasının olduğu görülmüştür. Bu etkileşimin kinetiği, etkileşim süresi ve mekanizması konusunda ise net bir sonuç elde edilememiştir.

Tüm bu çalışmaların sonucu olarak elektromanyetik alanların ortam ve canlılar üzerindeki etkilerinin uzun süreli olarak incelenmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır. Çünkü sunulan etkiler arasında ciddi fikir ayrılıkları mevcuttur ve bu belirsizlik ancak uzun süreli ölçümlerle sağlanabilir.

Mobil iletişim sistemleri çok sayıda ve farklı güçlerde baz istasyonuna ihtiyaç duymaktadır. Bu durum coğrafi yapılara ve baz istasyonu hücre yapısına göre de değişmektedir [20]. Tüm bu sistemlerin tek amacı kesintisiz ve hızlı iletişimi sağlamaktır. İnsanlığın sürekli artan iletişim ihtiyacı doğal olarak sürekli olarak artan baz istasyonlarına ihtiyaç duymaktadır. Yeni nesil haberleşme sistemlerinin her geçen gün kendini yenilemesi ve kapasitelerinin artmasıyla özellikle büyük şehirlerde iletişim trafiği anlık olarak yere ve zamana bağlı olarak rastgele değişmektedir. Bu değişimden dolayı elektromanyetik kirliliğin izlenmesi ve yorumlanması da oldukça zorlaşmaktadır. Yapılan anlık ölçümlerin yanında uzun süreli ölçümlerle zaman içerisinde elektromanyetik kirlilikte meydana gelen değişimlerin incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Esasında elektromanyetik alanların canlı üzerindeki etkilerini incelerken anlık ölçüm sonuçlarını kullanmak her zaman doğru sonuç vermeyecektir. Bu nedenle hem ölçümlerin uzun süreli yapılması hem de literatürde sunulmuş benzer verilerin harmanlanarak değerlendirilmesi daha doğru sonuçlar verecektir.

Bir baz istasyonundan yayılan elektromanyetik alan çok sayıda parametreye bağlıdır. Örneğin akşam iş çıkışı gibi belirli saat ve günlerde iletişim sistemleri yoğun bir şekilde çalışırken gece yarısından sonra büyük bir oranda iletişim trafiği düşmektedir. Ayrıca sıcaklık, nem ve ortamın diğer özellikleri elektromanyetik dalgaların yayılımında etkili olduğundan elektromanyetik kirliliğin değişiminde etkilidir. Bu parametrelerdeki değişimler ancak uzun süreli ölçümler alınarak minimize edilebilir. Yapılan bazı çalışmalarda elektromanyetik alanlara oldukça yakından maruz kalmanın ciddi sağlık sonuçları doğurduğu belirlenmiştir [21-23]. Elektromanyetik alanlara uzun sürelerde maruz kalmak yani kullanım sürelerinin fazla olması da canlılar üzerindeki zararların artmasına neden olmaktadır [23-25]. Literatürde elektromanyetik alanların yayılımı ve canlı üzerindeki etkileriyle ilgili birçok model de yer almaktadır. Finite Element Methods (FEM), Boundary Element Method (BEM) ve Finite-Difference Time-Domain (FDTD) yöntemleri farklı ortamlardaki elektromanyetik alanları modellemede kullanılmaktadır [26-28]. Farklı yöntemler kullanılarak elektromanyetik alana maruz kalmanın biyolojik etkileri incelenmiştir [29-34]. Tüm bu yöntemler matematiksel yöntemler olup aslında yaklaşık değerleri gösteren tahmini yöntemlerdir. Son dönemde artık her alana yayılan elektromanyetik dalgaları fiziksel olarak ölçmenin zorlaşması

nedeniyle ANN ve MLSR gibi etkin modelleme yöntemlerinin kullanımı daha fazla yaygınlaşmıştır [35-42].

Şehir merkezi çevreleri, hastane yakınları, eğitim bölgeleri ve ticaret merkezleri gibi insan nüfusunun yoğun olarak bulunduğu alanlar elektromanyetik kirliliğin en yüksek olduğu ve nüfus fazlalığından dolayı bu kirlilikten etkilenen insan sayısının en fazla olduğu yerlerdir [25-27]. Özellikle bu alanlarda yapılacak ölçümler en riskli bölgeler bu noktalar olduğu için büyük önem taşımaktadır. Bu bölgelerde yapılacak olan ölçümlerin süreklilik kazanması ve kamuoyuyla bu bilgilerin paylaşılması halk sağlığı için yararlı olacaktır.

Bu tez çalışmasında Muş ilindeki yüksek frekanslı elektromanyetik alanlar incelenmiştir. Hızla gelişmeye devam etmekte olan Muş il merkezi ve belki de şehrin gelişmesinde etkili olan en önemli faktör Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde yüksek frekanslı elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır.

Elde edilen ölçüm sonuçları limit değerlerle karşılaştırılarak risk faktörleri belirlendikten sonra oluşan elektromanyetik kirliliğin azaltılması ya da insan sağlığını daha az tehdit etmesi için alınabilecek önlemlere değinilmiştir. Kurum ve kuruluşların alabileceği önlemlerin yanı sıra kişisel olarak elektromanyetik alan maruziyetinden korunmak için alınabilecek önlemlere de yer verilmiştir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Yapılan yüksek lisans tezinin amacı, Muş ili merkezinde cep telefonu ve baz istasyonu kaynaklı yüksek frekanslı elektromanyetik alanların ölçülmesi değerlendirilmesi ve riskli bölgeler için alternatif çözümler gerçekleştirilmesidir. Şehir merkezindeki yaşam alanları çevresinde bu amaçla çeşitli ölçümler yapılmıştır. Yoğun olarak kullanılan şehir merkezinin genelinde yapılan ölçümler dışında yine şehrin insan yoğunluğunun en yüksek olduğu noktaları, yeni devlet hastanesi ve Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde ölçümler yapılmıştır. Ayrıca yapılan ölçümlerin daha kolay anlaşılabilmesi için ölçümlerden elde edilen sonuçlarla çizilmiş EMA kirlilik haritaları oluşturulmuş, mevcut baz istasyonları ve gelecekte kurulması muhtemel baz istasyonları için öneriler çalışmamızda sunulmuştur. Elektromanyetik alanlardan korunma da önemli bir yer tutan bireysel önlemlere de yer verilmiştir.

Ayrıca yapılan ölçüm sonuçları sınıflandırılarak toplam yüksek frekanslı elektromanyetik kirlilikte yüksek frekansta çalışan baz istasyonlarının rolü Muş ili için incelenmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmaların hem kamuoyuyla paylaşılması hem de benzer çalışmalar yapan araştırmacılar için referans olması nedeniyle kongre ve konferanslarda sunumlar gerçekleştirilmiş ve makale çalışmaları yapılmıştır. International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC) dergisinde bir adet makalenin yanı sıra Emanet 2015 sempozyumu Mersin, Akademik Bilişim 2016 konferansı Aydın, ICAT 2016 konferansı Konya, ICNASE 2016 konferansı Kilis, IDAP 2016 sempozyumu Malatya, MEMSTECH 2016 konferansı Lviv ve ICAIE 2017 konferansı Elazığ olmak üzere 7 ayrı konferansta bildiri sunumları yapılmıştır.

Tez çalışması yüksek frekanslı elektromanyetik alanların Muş ilinde ölçülmesini ve sonuçların değerlendirilmesini kapsamaktadır. Yüksek frekans kavramı çok geniş bir spektrumu kapsadığından ortamda kirliliğe sebep olan kaynaklar spektrum analiziyle tespit edilerek ölçümler genel olarak haberleşme sistemlerinin kullandığı frekanslarda daraltılmıştır. Radyo yayınları(FM,AM), TV yayınları(UHF, VHF), baz istasyonları(GSM, UMTS, LTE), radyolink istasyonları, cep telefonları gibi elektromanyetik kirliliği oluşturan temel frekans bantlarında ölçümler yapılmıştır. Özellikle cep telefonu ve baz istasyonlarının hem kendi edindiğimiz bulgular hem de diğer bilimsel çalışmalarla ispatlandığı üzere elektromanyetik kirliliğe katkısı diğer sistemlerden kat kat fazla olması sebebiyle bu frekans bandındaki ölçümler daha sık yapılmıştır. Ayrıca baz istasyonlarının diğer radyo frekans yayın kaynakları gibi genellikle şehrin dışında olmaması, yaşam alanlarının tamamen içinde bulunması önemli bir etken olmuştur.

Tezin birinci kısmında konuya genel bir giriş yapılarak mevcut durum üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Geçmiş yıllardan itibaren kısa bir tarihçe sıralanarak telefonun yıllar içerisinde gösterdiği gelişim belirtilmiştir. Bu çalışmanın yapılmasında amaçlardan bahsedilerek hedef belirlenmiştir. Ayrıca tez çalışmasının kapsamı ve genel anlamda yapılan çalışmalara değinilmiştir.

İkinci kısımda tez çalışmasının genel anlamda içeriği belirlenmiştir. Elektromanyetik alan kavramı tümüyle ele alınmış ve elektromanyetik alanların genel özelliklerinden bahsedilmiştir. Her bir frekans bandı ayrı ayrı incelenmiştir. Daha sonra düşük ve yüksek frekanslı elektromanyetik alanların canlılar üzerinde oluşturabileceği etkiler incelenmiş sınır değerlere ve bu değerler belirlenirken

yapılan incelemelere değinilmiştir. Son olarak tez çalışmasının kapsamına uygun olarak yapılan benzer çalışmalara ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar kısa bir şekilde özetlenmiştir.

Üçüncü kısımda tez çalışmasında kullanılan cihazlar ve izlenen yöntemler açıklanmıştır. Ölçüm cihazlarının özellikleri detaylı bir şekilde verildikten sonra ölçümlerde kullanılan yöntemler ve haritalandırma teknikleri açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular verilmiştir. Ölçüm sonuçları grafiklerle zenginleştirilerek açıklanmıştır. Haritalandırma işlemi sonucunda elde edilen tematik haritalar ve analizi yapılan frekans spektrumları bu bölümde detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Beşinci bölümde tez çalışmasının sonuçları verilmiştir. Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda Muş ilindeki yüksek frekanslı elektromanyetik kirlilik genel hatlarıyla ortaya konulmuştur. Yüksek frekanslı elektromanyetik alan kirliliği için riskli olabilecek bölgelere değinilerek genel ve bireysel bazda alınabilecek önlemler tez çalışmasıyla sunulmuştur.

2. GENEL KAVRAMLAR

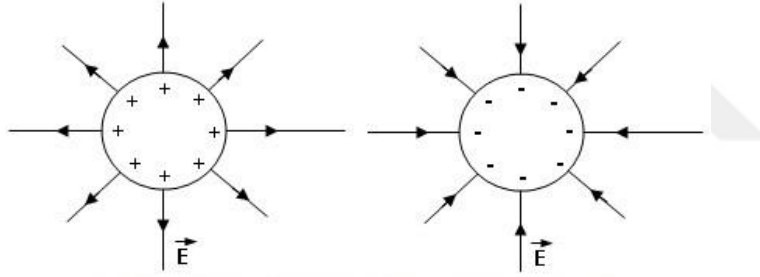
2.1 Elektrik Alan

Elektrik alan, alan içerisindeki herhangi bir noktada sabit duran yüke uygulanan yük başına kuvvet olarak tanımlanır. Elektriksel bir yükün etrafında etkisini gösterdiği bölgeye söz konusu yükün elektrik alanı denir. Elektrik alan değeri vektörel bir büyüklüktür. Dolayısıyla belirli bir yönü, doğrultusu, büyüklüğü vardır. Matematiksel olarak şu şekilde ifade edebiliriz:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{k \cdot q}{d^2} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 de F parçacık üzerinde oluşan elektriksel kuvveti, q parçacığın yükünü, k coulomb sabitini, E ise elektrik alan değerini ifade eder [43].

Elektrik alan çizgileri daima artı (+) yüklerden çıkıp eksi (-) yüklere doğrudur.



Şekil 2.1 Elektrik alan çizgileri

Yüklü iki parçacık arasındaki kuvveti denklem 2.2 deki şekilde tanımlayabiliriz.

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (2.2)$$

Burada F elektrik alan kuvvetini, k coulomb sabitini, q_1 ve q_2 yüklerin değerini, r ise yüklerin arasındaki mesafeyi gösterir [43].

2.2 Manyetik Alan

Manyetik alan, hareket eden elektrik yükleri tarafından, zamanla değişen elektrik alanlardan ya da temel parçacıklar tarafından üretilebilir. Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür. Herhangi bir noktada yönü, doğrultusu ve büyüklüğü vardır. Manyetik alanın varlığı uzun yıllardır insanlık tarafından bilinmektedir.

Dünyanın kendine özgü manyetik alanı sayesinde pusula keşfedilmiş ve yön bulmak kolaylaşmıştır [44].

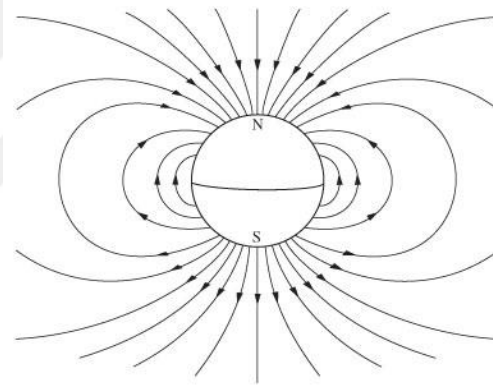
B manyetik alanında, v hızıyla hareket eden, q yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvete Lorentz kuvveti denir.

$$F = q \cdot v \cdot B \quad (2.3)$$

Manyetik Alanı elektriksel açıdan inceleyecek olursak; akım taşıyan bir iletkendeki her bir elektrik yüküne denklem 2.3’de gösterildiği şekilde bir kuvvet etki eder. Toplam kuvveti bulmak için bu kuvvetle toplam parçacık sayısını çarpmak gerekir. Akım geçen bir teldeki toplam manyetik kuvvet 2.4’deki denklem yardımıyla bulunur.

$$F = I \cdot l \cdot B \quad (2.4)$$

Burada I akım değerini, l telin uzunluğunu, B ise manyetik alan yoğunluğu değerini göstermektedir. Manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralı ile bulunur [44].



Şekil 2.2 Manyetik alan çizgileri

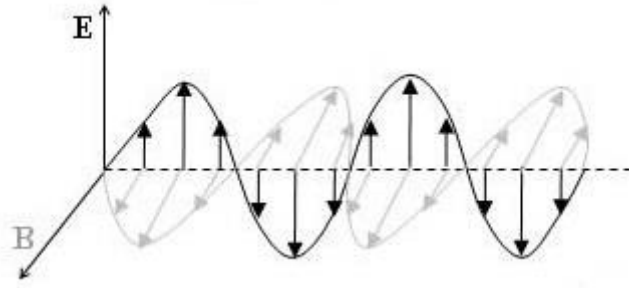
Şekil 2.2 kutuplar arası manyetik alan çizgilerinin dağılımları gösterilmiştir.

2.2 Elektromanyetik Alan

Elektromanyetik alanı tanımlamaya öncelikle alan kavramıyla başlamak gerekir. Alan, uzay ve zamanda gözlemlenebilir bir niceliğin veya büyüklüğün süreklilik gösteren dağılımı olarak tanımlanabilir [45].

Elektromanyetik dalgalar, yüklü bir parçacığın ivmeli hareketi sonucu oluşan birbirine dik elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerini içeren bu iki alanın oluşturduğu düzleme dik doğrultuda yayılan, yayılmaları için herhangi bir ortama

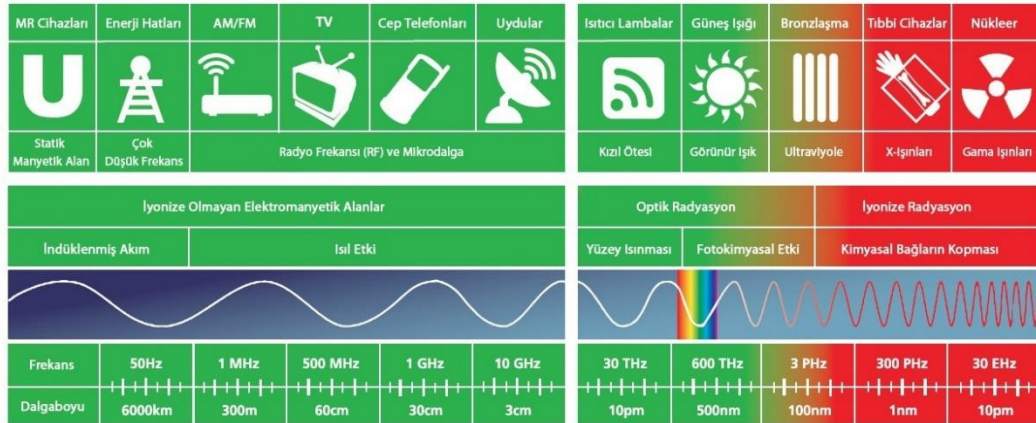
ihtiyaç duyulmayan enine dalgalardır. Dalgaların yayılma şekilleri Şekil 2.3’de gösterilmiştir [45].



Şekil 2.3 Elektromanyetik dalga yayılımı

2.3 Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik tayf, fizik kurallarına göre mümkün olan tüm elektromanyetik radyasyon ya da ışınım türevlerini dalga boyları veya frekanslarına göre bu tayftaki rölatif yerlerini ifade eden kavramdır. Elektromanyetik spektrumun şu andaki kapsamı dalga boyu atom altı parçacıklar boyutuna kadar olan(gama ışını) ışınlardan, binlerce kilometre uzunluğundaki radyo dalgalarına kadar çok geniş bir aralıktadır.



Şekil 2.4 Elektromanyetik spektrum([46]’dan değiştirilerek alınmıştır.)

Şekil 2.4’te elektromanyetik spektrum gösterilmiştir. Aynı zamanda temel bantlardaki elektromanyetik dalgaların kaynakları ve kullanım alanları gösterilmiştir.

2.4 Elektromanyetik Dalgalar ve Temel Özellikleri

Elektromanyetik dalgaların her frekans bandında farklı özellikleri olsa da bazı temel ortak özellikleri bulunmaktadır.

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (2.5)$$

Tüm elektromanyetik dalgalar ışık hızıyla yayılırlar. Işık hızının boşluktaki kesin değeri 299792458 m/sn'dir. Ancak genellikle 3×10^8 m/sn değeri kullanılmaktadır. Işık hızı yayılım ortamına göre 2.5'te görüldüğü üzere ortamın manyetik geçirgenlik ve elektriksel iletkenlik değerlerine bağlı olarak değişir.

$$v = f \cdot \lambda \quad (2.6)$$

Bütün elektromanyetik dalgalar ışık hızıyla yayıldığına göre 2.5'e göre elektromanyetik dalga'nın frekansına bağlı olarak λ dalga boyu değişim gösterir.

2.4.1 Radyo-Frekans Bandı

Elektromanyetik spektrumun uzun dalga radyo yayınlarından başlayıp milimetrik dalga boyundaki mikrodalgalara kadar uzanan frekans bölgesidir. Birçok haberleşme sistemi bu frekans bandını kullanmaktadır.

Radyo yayınlarında ses, elektriksel sinyale çevrilerek modüle edilir. Bu elektriksel sinyaller belirli frekanslarda elektromanyetik dalga üretir ve antenler üzerinden yayılırlar. Yine antenler aracılığıyla alınan elektromanyetik dalgalar alıcı tarafta elektriksel sinyaller oluşturur. Bu sinyallerin demodüle edilmesiyle tekrardan ses elde edilmiş olur. Ses sinyali yerine farklı verilerinde bu yolla işlenmesi mümkündür.

Radar sistemleri elektromanyetik dalgaların metal yüzeylerden yansımaları özelliğinden faydalanırken, mikrodalga fırınlar yiyeceklerin yapısında bulunan su moleküllerini titreştirerek ortaya ısı çıkmasını sağlayarak görevlerini yaparlar.

2.4.1 Kızılötesi Işıklar

Elektromanyetik spektrumun dalga boyları 700 nm ile 1 mm arasında kalan bölgesini oluşturlar. Belirli bir ısıyı olan tüm cisimler kızılötesi dalgalar yaymaktadır. Bu özellikleri ısı tespit sistemlerinde kullanılmalarını sağlamaktadır.

Tıp sektöründe kanser hücreleri ve tümörlerin tespit edilmesinde kullanılırlar. Bazı endüstriyel sistemlerde yabancı maddelerin tespitinde kullanılabilmektedirler.

2.4.2 Görünür Işık

Elektromanyetik spektrumun 400 nm ile 700 nm arasındaki dalga boyları bu bölgededir. Elektromanyetik spektrumda çok küçük bir alanı kapsarlar.

Güneşten dünyaya gelen enerjinin küçük bir kısmı görünür ışık olarak gelir. Farklı dalga boylarındaki ışıklar insan gözü tarafından farklı renklerde algılanmaktadır. Görünür ışığın en yüksek dalga boyundan en düşüğe doğru renk sıralaması; kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, lacivert, mor olarak gerçekleşmektedir.

2.4.3 Morötesi Işıklar

Elektromanyetik spektrumun 60 nm ile 400 nm dalga boylarını kapsayan ışın türüdür. Ultraviyole ışınların canlı sağlığı üzerinde yararlı ve zararlı bazı etkileri vardır. Kemik gelişimi için oldukça önemli olan D vitamininin vücutta emilebilmesi için güneşten gelen morötesi ışınlara ihtiyaç vardır. Ancak morötesi ışınlara fazla maruz kalmak yanıklara, kırıışıklara hatta kanser oluşumuna neden olabilmektedir. Morötesi ışınlar aynı zamanda tıbbi sterilizasyon işlemlerinde kullanılmaktadır [47].

2.4.4 X Işıkları

Elektromanyetik spektrumun dalga boyu 0.01 nm ile 60 nm aralığında bulunurlar. X ışınları her maddede değişik oranda soğurulurlar. Bu özelliklerinden faydalanılarak röntgen bulunmuştur. Çünkü X ışınlarının soğrulma oranı kemik ve et dokusunda birbirinden farklıdır.

X ışınları iyonize radyasyon bölgesinde bulunduğundan insan sağlığı için zararlı olabilmektedir. X ışınlarından korunmak istenilen durumlarda X ışınlarını geçirmeyen kurşundan faydalanılır.

2.4.5 Gamma Işınları

Elektromanyetik spektrumun dalga boyu 0.01 nm'den daha küçük olan kesimleri gama ışınları olarak nitelendirilir. Birçok maddenin içinden geçebilme özellikleri vardır. Canlı yaşamına oldukça zararlı olduğu için kullanım alanları kısıtlıdır. Dikkatli bir şekilde kullanıldığında kanser hücrelerinin yok edilmesinde ve zararlı bakterilerin öldürülmesinde kullanılabilmektedirler [47].

2.5 Elektromanyetik Alan Maruziyetinde Limit Değerlerin Belirlenmesindeki Esaslar

Elektromanyetik alanlar için birçok uluslararası kuruluş çeşitli dayanaklarla limit değerler belirlemiştir. Ülke ve yerel yönetimler bu kuruluşlar tarafından belirlenen limit değerleri birebir aynı şekilde ya da kendilerine göre değişiklikler yaparak kullanmaktadır.

1974'te Uluslararası Radyasyondan Korunma Topluluğu (IRPA) iyonize olmayan radyasyondan korunmayla ilgili çalışmalar yapmaya başladı. 1977'de Paris'teki IRPA kongresinde bu çalışma gurubu Uluslararası Non-İyonize Radyasyon Komitesi (INIRC) olarak adlandırıldı. Dünya Sağlık Örgütüyle (WHO) birlikte çalışan IRPA/INIRC iyonize olmayan radyasyondan korunmak için bazı kriterler ortaya koydu. 1992'de Montreal'de düzenlenen sekizinci kongrede yeni bir bağımsız bilimsel organizasyon olan Uluslararası Non-iyonize Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) IRPA/INIRC'nin halefi olarak kuruldu. Bu komisyonun temel amacı, iyonize olmayan radyasyonla ilişkili tehlikeleri araştırmak, uluslararası maruziyet limitlerini belirlemek ve iyonize olmayan radyasyondan korunmak için gerekli tüm bilgileri elde etmektir.

Yüksek frekans ve 50/60 Hz için limit değerlerin ana hatları IRPA/INIRC tarafından 1988 ve 1990'da çıkarıldı. 1994 yılında ise ICNIRP statik manyetik alanlar için yaptığı çalışmaların sonuçlarını yayınladı.

Maruz kalma limitleri belirlenirken komisyonlar öncelikle farklı uzmanların görüşlerini alarak işe başlanmaktadır. Bilimsel raporların geçerlilikleri dikkate alınırken hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarla insanlar üzerindeki etkileri inceleyen çalışmalara ağırlık verilmektedir. Kılavuzlar belirlenirken yalnızca bilimsel verilerden yararlanılması zamanla değişen elektromotor kuvvet (EMK) için yeterli düzeyde bir korunma sağlamaktadır. Komisyonlar iki ayrı duruma göre kılavuz yayınlamaktadır;

- Temel Sınırlama: Zamanla değişen elektrik alan, manyetik alan ve elektromanyetik alanlara maruziyet değerleri doğrudan sağlık etkileri üzerinden belirlenmektedir. Frekansa bağlı olarak; akım yoğunluğu (J), özgül soğurma oranı (SAR) ve güç yoğunluğu (S) değerleri belirlenir. Ancak yalnızca havadaki ve vücut dışındaki noktalardaki güç yoğunluğu kolayca ölçülebilmektedir.
- Referans Seviyeleri: Bu seviyeler pratik ölçüm limitlerini belirlemek için temel sınırlamalardaki değerlerin çeşitli bilgisayar yazılımları ya da matematiksel hesaplamalarla elde edilen türetilmiş değerleridir. Bu değerler; elektrik alan kuvveti (E), manyetik alan kuvveti (H), manyetik akı yoğunluğu (B), güç yoğunluğu (S), uzuvlarda indüklenen akımdır (I_F). Diğer dolaylı etkileri inceleyen değerler ise; temas akımı (I_C) ve darbeli alanlar için özgül soğurulma (SA) büyüklükleridir. Özel bir maruziyet durumunda, ölçülen ya da hesaplanan değerler uygun referans değerleriyle karşılaştırılabilirler. Eğer ölçülen ya da hesaplanan değer referans seviyelerini geçiyorsa temel sınırlamaları geçmesine gerek kalmaksızın riskli olduğu söylenebilir.

Elektrik alan, sadece elektrik yükünün varlığıyla ilişkilendirildiği zaman manyetik alan elektrik yükünün fiziksel hareketi sonucu ortaya çıkar. Bir elektrik alan, bir elektrik yüküne kuvvet uygular ve bu metre başına volt (V/m) olarak ifade edilir. Benzer şekilde manyetik alan elektrik yükü üzerinde bir kuvvet uygular ancak bu durum sadece yükün hareketli olması şartıyla gerçekleşir. Elektrik ve manyetik alanların her ikisi de kendi yönü ve büyüklüğü olan vektörel büyüklüklerdir. Bir manyetik alan iki şekilde ifade edilebilir: manyetik akı yoğunluğu (B) Tesla birimiyle, ya da manyetik alan gücü (H) metre başına amper (A/m) birimiyle. Bu iki büyüklük denklem 2.7'e göre birbiriyle ilişkilidir.

$$B = \mu \cdot H \quad (2.7)$$

Denklemden manyetik geçirgenlik sabiti olarak kullanılan " μ " birimi metre başına Henry (H/m)'dir. Manyetik alanı tanımlarken "B" ya da "H" büyüklüklerinden birinin tanımlanması yeterlidir.

Uzak alan bölgesinde, düzlem dalga yaklaşımı elektromanyetik alan yayılımı için iyi bir yaklaşımdır. Düzlem dalganın karakteristikleri aşağıdaki maddelerle açıklanabilir:

- Dalganın önü düzlemsel geometriye sahiptir.
- Elektrik alan (E) ve manyetik alan (H) vektörleri ile yayılma yönü karşılıklı olarak birbirine diktir.
- Elektrik alan (E) ve manyetik alan (H) fazları aynı olup, E/H değeri boşlukta sabittir. Genliklerin oranı $E/H=377$ ohm, boşluğun karakteristik empedansını gösterir.
- Güç yoğunluğu (S) kavramı denklem 2.8'de gösterildiği şekilde bulunabilir.

$$S = E \cdot H = E^2 / 377 = H^2 \cdot 377 \quad (2.8)$$

Yakın alan bölgesindeki durum biraz daha karmaşıktır. Elektrik alan (E) ve manyetik alanın (H) maksimum minimum değerleri yayılma yönünde aynı noktada oluşmazlar. Yakın alan bölgesinde elektromanyetik alan yapısı yüksek derecede non-homojen bir yapıda olabilir. Yakın alan maruziyetlerini belirlemek çok daha zordur. Elektrik alan (E) ve manyetik alan (H) ayrı ayrı ölçüleceği ve alan modellemeleri daha karmaşık olacağı için güç yoğunluğu kavramı maruziyet limitlerini belirlerken uygun bir büyüklük olmaktan çıkacaktır.

Zamanla değişen bir elektromanyetik alana maruz kalmak, vücut üzerinden akım akmasına ve dokularda enerji absorpsiyonuna neden olur. Bu elektrik alan ve akım yoğunluğu ohm kanunuyla ilişkilidir.

$$J = \sigma \cdot E \quad (2.9)$$

" σ " simgesi ortamın elektriksel geçirgenliğini ifade ederken, "J" akım yoğunluğunu ve "E" elektrik alan değerini ifade etmektedir. Kılavuzlarda kullanılan dozimetrik büyüklükler farklı frekans aralıklarını ve dalga yapılarını şu ilkelere göre dikkate alır:

- Akım yoğunluğu (J) değeri 10 MHz frekansına kadar,
- Akım (I) değeri 110 MHz frekansına kadar,
- Özgül Soğrulma Oranı (SAR) 100 kHz-10 GHz frekans aralığında,

- Özgül Soğrulma (SA) darbeli alanlar için 300 MHz-10 GHz frekans aralığında,
- Güç yoğunluğu (S) değeri 10 GHz-3 00Ghz frekans aralığında geçerlidir.

Elektromanyetik alan ve dozimetrik büyüklükler için kullanılan birimler ve büyüklükler Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. SI birim sistemine göre elektrik, manyetik, elektromanyetik ve dozimetrik büyüklükler

Büyüklük	Sembol	Birim
İletkenlik	σ	Metre başına Siemens (S/m)
Akım	I	Amper (A)
Akım Yoğunluğu	J	Metrekare başına Amper (A/m ²)
Frekans	f	Hertz (Hz)
Elektrik Alan Gücü	E	Metre başına Volt (V/m)
Manyetik Alan Gücü	H	Metre başına Amper (A/m)
Manyetik Akı Yoğunluğu	B	Tesla (T)
Manyetik Geçirgenlik	μ	Metre başına Henry (H/m)
Dielektrik Sabiti	ϵ	Metre başına Farad (F/m)
Güç Yoğunluğu	S	Metrekare başına Watt (W/m ²)
Özgül Soğrulma	SA	Kilogram başına Joule (J/kg)
Özgül Soğrulma Oranı	SAR	Kilogram başına Watt (W/kg)

Maruziyeti sınırlandırmaya yönelik oluşturulan tüm kılavuzlar literatürde yer alan tüm bilimsel çalışmaların gözden geçirilmesiyle oluşturulan derleme

alışmalar doğrultusunda hazırlanmıştır. Kanseri oluşumlarını inceleyen uzun süreli maruziyetler bu kılavuzlarda yer almamaktadır. Sadece kısa sürede ortaya çıkan anlık etkiler göz önünde bulundurularak kılavuzlar oluşturulmaktadır. Sınır değerler belirlenirken dikkate alınan bazı etkiler; çevresel sınırların uyarılması, kas ağrıları, iletken nesnelere dokununca ortaya çıkan çok ve yanmalar, elektromanyetik kuvvet soğrulmasıyla dokularda ortaya çıkan sıcaklık artışıdır. Kanseri gibi uzun süreli etkiler içinse ICNIRP tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçların bir limit değeri oluşturmak için yetersiz olduğunu, epidemiyolojik çalışmalar fikir üretmeyi sağlasa da ikna edici olmadığını söylemektedir [48].

Yapılan in-vitro çalışmalarla incelenen aşırı düşük frekans (ELF) bandında bazı hücrel değişiklikler gözlemlense de in-vivo çalışmalarda bu etkiler gözlenmediği için sınır değerler belirlenirken sadece in-vitro çalışmalarla desteklenen bilimsel makaleler daha az dikkate alınmıştır.

2.5.1 Vücut ve Alanlar Arasındaki Etkileşim Mekanizması

Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlarla etkileşimi üç temel mekanizmayla incelemek mümkündür:

- Düşük frekanslı elektrik alanlarla etkileşim,
- Düşük frekanslı manyetik alanlarla etkileşim,
- Elektromanyetik alanlardan enerji absorpsiyonu.

Zamanla değişen elektrik alanlarla vücudun etkileşimi sonucu vücut üzerinde elektrik yüklerinin (elektrik akımı) akışı gerçekleşmektedir. Ortaya çıkan farklı etkilerin bağlı büyüklükleri vücudun elektriksel özelliklerine (elektriksel iletkenlik ve dielektrik sabiti) göre değişiklik göstermektedir. Vücudun elektriksel iletkenliği ve dielektrik sabiti doku yapısına göre değişebildiği gibi uygulanan alanın frekansına göre de değişiklik gösterir. Dışarıdan gelen elektrik alanla vücut yüzeyi üzerinde bir akım indüklenir. Bu akımın dağılımı maruziyet koşullarına, vücut büyüklüğüne, vücut şekline ve vücudun alan karşısındaki pozisyonuna göre değişiklik gösterir.

Zamanla değişen manyetik alanlarla vücudun etkileşimi sonucu vücut üzerinde elektrik akımı dolaşımı ve elektrik alan oluşur. Oluşan alanın ve akım yoğunluğunun büyüklüğü, oluşan döngü yarıçapı, dokunun elektriksel iletkenliği ve manyetik akı yoğunluğunun değişim oranıyla doğru orantılıdır. Belirli bir

büyüklik ve frekanstaki manyetik alanların oluşturduğu en büyük elektrik alan boyutları en büyük olan döngü içerisinde oluşmaktadır. Vücut üzerinde indüklenen akımın yolu ve büyüklüğü tamamen orada bulunan dokunun elektriksel iletkenliğiyle alakalıdır. Vücut elektriksel olarak homojen olmadığından dolayı indüklenen akım yoğunlukları yalnızca yüksek anatomik çözünürlüğe sahip, gerçekçi elektriksel ve anatomik özelliklere sahip modellerle yapılabilmektedir.

Düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmak vücutta önemsiz miktarda enerji absorpsiyonuna ve ölçülemeyecek düzeyde sıcaklık artışına neden olur. Ancak 100kHz'in üzerindeki frekanslarda kayda değer bir sıcaklık artışı görülebilmektedir. Genel olarak, düzlem dalga formundaki bir elektromanyetik dalgaya maruz kalmak vücut üzerinde düzensiz bir enerji dağılımının oluşmasına sebep olur. Bu durum dozimetrik ölçüm ve hesaplamalarla belirlenmelidir. Vücut üzerinde soğrulma durumlarına göre elektromanyetik dalgalar dört aralığa bölünebilmektedir:

- 100 kHz-10 MHz aralığındaki elektromanyetik dalgalar genellikle gövde de soğrulur. En belirgin soğrulma noktaları boyun ve bacaklardır.
- 20 MHz-300 MHz aralığındaki elektromanyetik dalgalar tüm vücutta yüksek soğrulma oranına sahiptir. Kafa gibi vücut parçalarının rezonansı dikkate alınırsa soğrulma oranı daha da artar.
- 300 MHz-10 GHz aralığındaki elektromanyetik dalgalar bölgesel olarak düzensiz bir yapıda soğrulurlar.
- 10 GHz üstündeki frekanslardaki elektromanyetik dalgalar genellikle vücut yüzeyinde soğrulurlar.

Dokularda SAR değeri elektrik alan şiddetinin karesiyle doğru orantılıdır. Ortalama SAR değeri laboratuvar ortamında yaklaşık olarak hesaplanabilir. SAR değeri şu etmenlere bağlıdır:

- Özel alan parametreleri (frekans, yoğunluk, polarizasyon, alan bölgesi)
- Maruz kalan vücudun karakteristiği (boyut, iç ve dış geometrisi, farklı dokuların elektriksel özellikleri)
- Yerin ve diğer cisimleri yansıtma etkisi

Düzlem dalga koşullarında, vücudun uzun eksenini elektrik alan vektörüne paralel olduğu zaman tüm vücut için SAR değeri en yüksek noktaya ulaşır. Soğrulan enerji miktarı vücut ölçüleriyle yakından ilişkili olduğu için Uluslararası

Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) 1994 yılında “Standart Referans Adam” özelliklerini yayınlamıştır. Buna göre yerde durmayan bir insanın rezonans frekansı yaklaşık 70 MHz’dir. Uzun bireylerde bu değer düşer. Kısa bireylerde ve çocuklarda ise 100 MHz’i aşabilir. Yerde olan bireyler için rezonans frekansı normal değerlerin yaklaşık 2 katı daha azdır.

Çalışma frekansı 10 MHz üzerinde olan bazı cihazların (dielektrik ısıtıcılar, cep telefonları) insanla olan maruziyeti yakın alan koşullarında olabilir. Enerji absorpsiyonunun frekans bağımlılığı bu koşullarda uzak alana göre çok farklı olabilir. Manyetik alanlar cep telefonları için bazı maruziyet koşullarında daha önemli hale gelebilir. Sayısal modelleme teknikleri sayesinde, vücutta indüklenen akım, dokulardaki alan gücü gibi değerler yakın alan maruziyeti koşullarında bile, cep telefonları, telsizler, yayın kuleleri, dielektrik ısıtıcılar ve gemi haberleşme kaynakları için hesaplanabilmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar göstermiştir ki yakın alan maruziyetleri yüksek bölgesel SAR değerleri oluşturabilmektedir. Tüm vücuttaki ve bölgesel SAR değeri yüksek frekanslı kaynakla olan uzaklıkla yakından ilişkilidir. Sonuç olarak yapılan ölçümler ve modellemeler sonucunda hesaplanan SAR değerlerinin çeşitli maruziyet koşullarındaki etkileri karşılaştırılarak sonuca varılır [48].

10 GHz’den daha yüksek frekanslarda alanın doku üzerinde oluşturduğu etki oldukça yüzeyseldir. SAR değeri bu koşullarda soğrulan enerjiyi ölçmek için iyi bir yöntem değildir. Bu yüzden elektromanyetik alanın güç yoğunluğu değerini ölçmek daha doğru olacaktır.

2.5.2 Dolaylı Etkileşim Mekanizmaları

Dolaylı etkileşim mekanizmaları iki başlık altında incelenebilir. İnsan vücudunun farklı elektriksel potansiyele sahip bir cisimle etkileşimi sonucu (vücut ya da cisim bir elektromotor kuvvetle yüklendiği zaman) bir akım akar. Birde giyilen veya vücuda yerleştirilmiş medikal cihazların oluşturduğu etkileşim mekanizması sonucu vücudun çeşitli noktalarında akım oluşabilir.

Temas edilen cismin bir elektromotor kuvvetle yüklenmişse, insan vücudu üzerinden bir akım akar. Bu akımın genliği ve özellikleri, elektromanyetik alanın frekansına, cismin büyüklüğüne, vücudun büyüklüğüne, temas yüzeyine bağlıdır.

Ayrıca güçlü bir alan altındaki cisimle yakın temasa geçildiği zaman geçici kıvılcımlar oluşabilir.

2.6 Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alanlar için Maruziyet Limitlerinin Belirlenmesi

Bu başlık altında 100 kHz'e kadar olan frekanslardaki elektrik ve manyetik alanların sağlık üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların sonuçlarına değinilecektir. Bu sonuçlar limit değerlerin belirlenirken gerekli olan temel bilgileri oluşturmaktadır.

2.6.1 Epidemiyolojik Çalışmalar

Birçok epidemiyolojik çalışma düşük frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalmanın kanser riskini arttırdığını söylemektedir [49-51]. Benzer diğer çalışmalar ise maruziyetin üreme sistemi üzerindeki olumsuz etkilerini göstermektedir [52-54].

2.6.2 Üreme Sistemi Üzerindeki Etkileri

Hamilelik üzerinde yapılan epidemiyolojik çalışmalar görüntü üniteleriyle çalışan kadınların belirli bir olumsuz etkiyle karşılaşmadığı görülmüştür [55]. Görüntü üniteleri kullanan kadınlarla kullanmayan kadınlar arasındaki düşük riskinin aynı olduğu belirlenmiştir [54]. Görüntü ünitelerinin yaydığı elektrik ve manyetik alanı ölçmekle ilgilenen çalışmalardan biri düşük frekanslı elektromanyetik alanların hamilelikteki düşükle ilişkili olduğunu savunurken bir diğeri hiçbir ilişki bulmadığını savunmaktadır. Çok sayıda durumu içeren, yüksek katılım oranı olan ve detaylı maruziyet değerlendirmesi yapılmış olan çalışmada doğum ağırlığı ve doğum öncesi gelişimin düşük frekanslı elektromanyetik alanlarla herhangi bir ilişkisinin bulunmadığı ortaya koyulmuştur. Olumsuz sonuçlar veren örnekler yüksek seviyedeki maruziyetlerle ilişkilendirilmemiştir. Yapılan ölçümler, yaşam alanları yakınındaki iletim hatlarını, kişisel ölçüm verilerini, ev içindeki ölçüm verileriyle elektrikli battaniye, ısıtmalı su yatakları,

görüntü üniteleri kullanımıyla oluşan elektromanyetik kirlilik seviyelerini içermektedir [56-58].

Birçok çalışma hamilelikteki düşük ile düşük frekanslı elektromanyetik alanların ilişkisi olmadığını söylese de, son yıllarda yapılan bazı çalışmalar düşük oranda da olsa düşük riskini arttırdığını göstermektedir. Düşük frekansta 150 kV/m'ye kadar elektrik alana maruz kalmak birkaç jenerasyon sonra bile memeli canlılar üzerinde belirgin olumsuz etkiler ortaya çıkarmamaktadır [59].

2.6.3 Sinir Sistemi Üzerindeki Etkileri

Düşük frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalmanın sinir sistemi üzerinde en temel etkisi rahatsızlık algısıdır. Bu algı insanların duyarlılıklarına göre değişkenlik göstermektedir. Düşük frekanslı elektromanyetik alanların doğrudan algılanması için gerekli eşik değer çok hassas insanlar(gönüllülerin yaklaşık %10'u) için 2-5 kV/m'dir. Rahatsız edici olarak nitelenen(gönüllülerin yaklaşık %5'i) sınır değer ise 15-20 kV/m'dir [60].

Elektromanyetik alanlardan kaynaklı elektriksel olaylara verilen tepkilerin kas ve sinir dokularına etkilerini inceleyen önemli çalışmalar yapılmıştır. Miyelin kılıflı sinir hücreleri için yapılan teorik hesaplamalar ve bilgisayar modellemeleri sonucunda 6 V/m tepe değerini eşik değer olarak belirlemişlerdir. Manyetik rezonans (MR) sistemleriyle gönüllüler üzerinde yapılan araştırmalarda ise indüklenen elektrik alan eşik değerinin 2 V/m değerinin bile altında olabileceği gösterilmiştir [60-62]. Farklı yapıdaki insan doku modelleri üzerinde yapılan daha sağlıklı bir MR çalışması sonucunda kişiden kişiye değişmekle birlikte çevresel sinirlerin uyarılmasındaki indüklenen elektrik alan eşik değer 4-6 V/m olarak gösterilmiştir [63].

Kas hücreleri genel itibariyle uyaranlara daha az duyarlıdır. Kalp kası hücreleri doğrudan hayat riski taşıdığı için bu hücreler üzerinde daha dikkatli olunması gerekmektedir ancak yapılan çalışmalarda kas hücreleri üzerindeki bozucu etkilerin oldukça yüksek elektrik alan değerlerinde ortaya çıktığı görülmüştür [60].

Düşük frekanslı elektromanyetik alanlar için en güçlü etkilerin gözlemlendiği kas ve sinir grubu gözdür. Gönüllüler üzerinde yapılan çalışmalarda 20Hz frekansta 5mT manyetik alan içerisinde insanların görüş alanı içerisinde soluk bir ışık gördüğü gözlemlenmiştir. Bu durum oluşan elektrik alanının retina hücrelerini

uyarmasıyla oluşmaktadır. Göz hücreleri için indüklenen elektrik alan eşik değeri 20 Hz frekansta 50-100 mV/m olarak hesaplanmıştır [62].

Merkezi sinir sisteminin sinir dokuları ve hafıza, his gibi özelliklerin zayıf elektrik alanlar tarafından da etkilenebileceği ortaya koyulmuştur. Merkezi sinir sistemindeki nöronların elektriksel polarizasyonunu bazı zayıf elektrik alanlar tarafından etkilenecek sinir hücrelerinin kararlılıkları ve işlevleri değişebilmektedir. Beyin hücreleri üzerinde yapılan in-vitro çalışmalarda 100 Hz frekansta beyin hücrelerindeki kararsızlıklar 100mV/m elektrik alan seviyelerinde ortaya çıkmaktadır [62].

İki farklı araştırma grubu doğrudan kafaya elektrotlarla uygulanan zayıf elektrik alanların beyin elektriksel faaliyetleri ve fonksiyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Görsel kortekse karanlık koşullarda uygulanan 10 Hz (görsel korteksin karakteristik frekansı)frekansta uyarımlar sonucunda ışık algısı ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Daha yüksek ya da daha düşük frekanslarda bu durum ortaya çıkmamıştır. 20 Hz frekansta motor kortekse uygulanan elektrik alan sonucunda ise küçük ama istatistiksel olarak anlamlı oranda el hareketlerinde yavaşlama görülmüştür. Tüm bu çalışmalar göstermektedir ki; 10-20 Hz frekanstaki elektromanyetik alanlardan indüklenen elektrik akımları da görsel ve motor korteksin ritmik elektriksel faaliyetleri üzerinde bozucu etkiler gösterebilir.

Bazı insanlar elektromanyetik alanlara karşı hassas olduğunu iddia etse de yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ortaya çıkan rahatsızlık hissinin elektromanyetik alanlara maruz kalmakla ilgisiz olduğunu göstermiştir [64].

Düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanların depresyon ve intihara yol açtığını söyleyen çalışmaların tamamı yetersiz verilerle hazırlanmış çalışmalardır.

Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda düşük frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalmanın sinirsel davranışlar üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Düşük frekanslı elektromanyetik dalgaları bazı hayvanların hissedebildiğine dair inandırıcı sonuçlar ortaya konulmuştur [59].

Yüzey elektrik yükünün algılanması, kas ve sinirler üzerindeki doğrudan uyarımlar, göz retinası üzerinde ışık algısı düşük frekanslı elektromanyetik alan maruziyeti sonucu çokça saptanmış bulgulardır. Ayrıca beyin fonksiyonları üzerindeki etkiler dolaylı bilimsel kanıtlar üzerinden gösterilmiştir. Bunun dışında düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanların oluşturduğu sinirsel davranışlar

üzerindeki diğer etkiler maruziyet limitlerini belirlemek için yeterince güvenli değildir.

Son yıllarda nörodejeneratif hastalıklarla düşük frekanslı elektromanyetik alanları ilişkilendiren bir hipotez ortaya atılmıştır. Parkinson ve doku sertleşmesi rahatsızlıkları için yapılan çalışmalar düşük frekanslı elektromanyetik alanların bu hastalıklar üzerinde çok küçük oranda etkili olduğunu ya da hiç etkili olmadığını göstermektedir. Alzheimer ve ALS hastalığı içinde birçok çalışma yapılmıştır. Elektrik işleriyle uğraşanların normal bireylere göre ALS hastalığına daha çok yakalandığı görülmüştür [65]. Ancak bu durumun çalışanların elektromanyetik alanlara maruz kalması sebebiyle değil de, zaman zaman çalışanların yaşadığı elektrik şoklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Alzheimer hastalığı üzerine yapılan çalışmalarda ise uzun süreli maruziyetlerde hastalığa yakalanma riskinin az sayıda vakada da olsa arttığı gözlemlenmiştir [66].

2.6.4 Endokrin Sistem Üzerindeki Etkileri

Gönüllüler üzerinde yapılan epidemiyolojik çalışmalarda endokrin sistemin 50-60 Hz elektrik ve manyetik alana maruz kalmasının herhangi bir olumsuz etkisi gözlemlenmemiştir. Bazı hormon seviyesindeki değişiklikler, epifiz bezinden salgılanan melatonin miktarı ve hipofiz bezinin fizyolojik yapısı üzerine yapılan çalışmalar sonucunda 50-60 Hz frekanstaki elektromanyetik alanların belirgin bir etkisi görülmemiştir [59].

Hayvanlar üzerinde yapılan 50-60 Hz frekanstaki elektromanyetik dalgaların etkilerini inceleyen çalışmalarda bazı araştırmacılar melatonin seviyesinde değişimler saptarken bazıları da hiçbir etkinin olmadığı sonucuna varmıştır [59].

Memeli türleri üzerinde yapılan çalışmalarda stresle bağlantılı hormonlar üzerinde belirgin bir etki görülmemiştir. Yalnızca yüksek seviyelerde düşük frekanslı elektromanyetik alan uygulandığında kısa süreli stres belirtileri gözlemlenmiştir. Büyüme hormonu ve cinsel gelişim üzerinde yapılan çalışmalarda ise birkaç olumsuz sonuç bulunmasına karşı bu çalışmaların sonuçları yeterli görülmemiştir [59].

Genel olarak tüm bu veriler göz önüne alındığında düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanların endokrin sistem üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

2.6.5 Kalp ve Damar Hastalıkları Üzerindeki Etkileri

Düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar üzerinde yapılan uzun ve kısa süreli deneysel çalışmalar sonucunda elektrik çarpmasının tamamıyla hayati tehlike oluşturduğu ve diğer sağlık etkilerinin tamamen uygulanan alan şiddetiyle alakalı olduğu görülmektedir. Kalp damar hastalıkları üzerine yapılan birçok çalışma elektromanyetik alanların bu rahatsızlıklar üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Etkilerin büyük çoğunluğu önemsiz etkiler olmakla beraber tüm çalışmalarla belirlenmiş sabit etkiler yoktur. Çalışmaların çoğunluğu kalp ve damar hastalıklarının oluşmasında elektromanyetik alan maruziyetinin etkin olmadığını göstermektedir. Yalnızca kalbin otonom kontrolü üzerindeki bozulmalar hakkındaki tartışmalar sürmektedir. Genel duruma bakacak olursak düşük frekanslı elektromanyetik dalgaların kalp ve damar hastalıklarına neden olduğunu söylemek doğru değildir [59].

2.6.5 Kanseri Türleri Üzerindeki Etkileri

1980'lerden itibaren düşük frekanslı elektromanyetik alanların kanser üzerindeki etkilerini inceleyen birçok epidemiyolojik çalışma yapılmıştır. Uzun süreli maruziyetlerde birçok ülkenin halen kullanmakta olduğu 1998 ICNIRP maruziyet limitlerinin altındaki değerlerde bile kanser riski olduğu görülmüştür. İlk çalışmalar çocukluk çağındaki kanserlerin manyetik alanlarla yakından ilişkili olduğunu göstermekteydi. Sonra bu durumdan yetişkinlerinde etkilendiği görüldü.

Eski çalışmalarda çocukluk çağındaki lösemiyle 50-60 Hz frekanstaki manyetik alanın zayıf bir ilişkisi olduğu söylenmekteydi. Sonraki çalışmalarda bu durumu destekleyince çocukluk çağındaki lösemi ile düşük frekanslı manyetik alanlar arasında bir ilişki olduğu belirlendi. Bu çalışmalara göre 0.3-0.4 μ T üzerindeki manyetik alanlar için kesin olmamakla birlikte çocukluk çağındaki lösemiye yakalanma olasılığını arttırdığını söyleyebiliriz. Aynı zamanda yapılan deneysel çalışmalarda 50-60 Hz frekanstaki manyetik alanlar için herhangi bir biyofiziksel mekanizma tanımlanmadığını söyleyebiliriz [67].

Uzmanlar çocukluk çağındaki lösemi ve lenfoma için yeterli düzeyde bir hayvan modeli bulunamadığını söylemektedir. Kemirgenler üzerinde bu konuda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bazı uzun süreli ve geniş kapsamlı

kemirgen çalışmaları sonucunda düşük frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalmanın meme, beyin, cilt kanseri de dahil olmak üzere hiçbir kanser türünün oluşmasında etkin olduğu tutarlı bir sonuçla gösterilmemiştir.

Çoğunlukla 50 mT altındaki düşük frekanslı elektromanyetik alanların genetik yapı üzerinde etkili olmadığı saptanmıştır. Çocukluk çağındaki lösemi üzerine yapılan epidemiyolojik çalışmalar, hayvanlar üzerindeki kanser verileri ve yapılan kısmi yaşam boyu çalışmalar belirsiz olmakla beraber çocukluk çağındaki lösemiyle düşük frekanslı manyetik alanlar arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir [68].

2.6.6 Akut Etkiler

Elektromanyetik dalgaların akut etkilerini detaylı bir şekilde inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Kas ve sinirlerde uyarım ile retinada oluşan ışık algısı gibi doğrudan etkilerin yanı sıra motor beceriler ve görsel işlemler gibi beyin fonksiyonlarını yavaşlattığı düşünülen düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar bulunmaktadır. Düşük frekanslı elektromanyetik dalgalara maruz kalmak aynı zamanda vücut yüzeyinden akım akmasına ya da bir gerilim indüklenmesine sebep olabilir ve bunun sonucunda vücut üzerinden bir elektrik boşalması meydana gelebilir. Ancak tüm bu etkiler genellikle belirlenen sınır değerlerin çok üstündeki maruziyetlerde meydana gelmektedir [69].

2.6.7 Kronik Etkiler

Düşük frekanslı elektromanyetik dalgaların kronik etkilerini inceleyen bireysel araştırmacılar ve bazı bilimsel paneller bulunmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) kanser araştırma enstitüsü Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) yakın zamanda düşük frekanslı elektromanyetik alanları “muhtemel kanser sebebi” statüsü olan 2B'ye almıştır. Bu kararın alınmasının temel sebebi çocukluk çağındaki lösemi üzerine yapılan çalışmalardır. ICNIRP bu alanda elde edilen sonuçların çok zayıf olması ve bu ilişkinin gündelik maruziyetlerde değil de uzun süreli maruziyetle ortaya çıkması sebebiyle kılavuzlardaki limit değerleri düşürmenin herhangi bir fayda sağlamayacağını düşünmektedir [69].

2.6.8 Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alanlar için Güncel Maruziyet Limitleri

Çizelge 2.2. 100 kHz frekansına kadar olan elektrik ve manyetik alanlar için ICNIRP tarafından belirlenen limit değerler

Hedef Doku	Frekans	Elektrik Alan(V/m)
Mesleki Alanda		
Kafadaki Merkezi Sinir Sistemi Dokularında	1 Hz-10 Hz	0.5/f
	10 Hz-25 Hz	0.05
	25 Hz-400 Hz	2x10 ⁻³
	400 Hz-3 kHz	0.8
	3 kHz-10 MHz	2.7x10 ⁻⁴
Kafa ve Vücuttaki Tüm Dokularda	1 Hz-3 kHz	0.8
	3 kHz-10 MHz	2.7x10 ⁻⁴
Halka Açık Alan İçerisinde		
Kafadaki Merkezi Sinir Sistemi Dokularında	1 Hz-10 Hz	0.1/f
	10 Hz-25 Hz	0.01
	25 Hz-1000 Hz	4x10 ⁻⁴
	1000 Hz-3 kHz	0.4
	3 kHz-10 MHz	1.35x10 ⁻⁴
Kafa ve Vücuttaki Tüm Dokularda	1 Hz-3 kHz	0.4
	3 kHz-10 MHz	1.35x10 ⁻⁴

- f simgesi frekansı göstermektedir.
- Bütün değerler etkin değerdir.
- 100 kHz üstündeki frekanslarda ek olarak RF temel kısıtlamaları göz önünde tutulmuştur.

Tüm frekans bantlarındaki elektromanyetik radyasyonun etkilerini azaltmak için uluslararası kuruluşlar limit değerler belirlemektedir. Çizelge 2.2’de bu alanda ICNIRP tarafından belirlenen limit değerler gösterilmiştir. Bunun dışında European Telecommunication Standardization Institute (ETSI) ve Federal Communications Commission (FCC) tarafından belirlenen sınır değerlerde mevcuttur. ICNIRP tarafından belirlenen sınırlar tüm dünya genelinde kabul gören en kapsamlı standartlardır. Ülkemizde de Bilgi Teknoloji Kurumu (BTK) ICNIRP standartlarını kabul etmiştir.

Çizelge 2.3. BTK tarafından belirlenen bazı limit değerler

Frekans Bandı (MHz)	Tek Cihaz (V/m)	Ortam Toplamı (V/m)
Radyo 87.5 - 108	7	28
Televizyon VHF 174 - 230	7	28
Televizyon UHF 470 - 854	7,39	29,81
GSM 800-900	10,23	41,25
GSM 1800	14,47	58,33
UMTS 2100	15	61
LTE 2600	15	61

Bilgi Teknolojileri tarafından belirlenen limit değerler ICNIRP değerleriyle birebir aynıdır. Sadece tek bir cihaz için belirlenen limit değer ortamın limit değerinden %75 oranında azaltılarak verilmiştir. Bunun dışında uluslararası limitlerle ülkemizde uygulanan limit değerler arasında herhangi bir fark bulunmamaktadır.

2.7 Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanlar için Maruziyet Limitlerinin Belirlenmesi

Bu başlık altında 300 GHz'e kadar olan frekanslardaki elektrik ve manyetik alanların sağlık üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların sonuçlarına değinilecektir. Bu sonuçlar limit değerlerin belirlenirken gerekli olan temel bilgileri oluşturmaktadır.

Dünya çapında yoğun bir şekilde cep telefonlarının kullanılması yüksek frekans bandındaki en önemli elektromanyetik kirliliği oluşturmaktadır. Sadece akıllı telefon kullanıcı sayısının bile 2 milyarı aştığı göz önüne alınırsa, yeni teknolojilerin muhtemel etkilerinden korunmak gerekmektedir.

Radyo frekans dalgalarının görünmez ve algılanamaz olmasında dolayı epidemiyolojik çalışmaların yorumlanması zorlaşmaktadır.

2.7.1 Epidemiyolojik Çalışmalar

Yapılan epidemiyolojik çalışmaların birçoğu kanser türleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Toplum çalışmaları, potansiyel RF elektromanyetik alanlara maruz kalan gruplar üzerindeki çalışmalar, kanserin yoğun görüldüğü bölgelerdeki ölçüm

alışmaları, meslekleri nedeniyle RF elektromanyetik alanlara maruz kalanlar üzerindeki çalışmalar ve düzenli olarak toplanan veri setlerinin değerlendirilmesiyle ortaya çıkan çalışmalar kanser üzerine yapılan epidemiyolojik çalışmaların temelini oluşturmaktadır.

Çalışmanın genişliği, düzenlenmesi ve kalitesi göz önüne alınarak incelenen RF elektromanyetik alanlarla kanser ilişkisini analiz eden çalışmalar lösemi ve beyin tümörü üzerinde RF elektromanyetik alanların küçük bir etkisi olduğunu göstermektedir. Sadece bir çalışmada lenfositik olmayan lösemi hastalığının radar sistemlerinde çalışan askeri personellerde yüksek bir oranda görüldüğü belirlenmiştir. Ancak bu bulgular daha sonra yapılan bir çalışmanın sonuçlarıyla uyuşmamaktadır. Hasta yakınlarının röportajlarını içeren başka bir çalışmada da RF elektromanyetik alanların kanser üzerinde etkili olduğu savunulmuş, ancak hastalar üzerindeki maruziyet seviyelerinin net olarak belirlenemediği grlmştir. Amerika'nın Moskova elçiliği çalışanları üzerinde yapılan çalışmada bazı lösemi ve beyin tümörü vakalarının RF elektromanyetik alanlarla ilişkili olabileceği belirlenmiştir. Bu çalışmada ise RF elektromanyetik maruziyeti net olarak belirtilmemiş ve hastalığa yakalananların yarısının elçilikte sürekli ikamet etmeyen personelden olduğu grlmştir [48,59].

Tüm çalışmalarla ilgili en önemli endişe RF elektromanyetik alan maruziyetinin değerlendirme niteliğidir. Yapılan çalışmaların lösemi ve beyin tümörü riskini tutarlı kanıtlar çerçevesinde arttırdığı belirlenmediği sürece RF elektromanyetik alanlara karşı katı tedbirler uygulanması doğru değildir. Yapılan çalışmaların çoğunluğunda şiddetli tutarsızlıklar olduğu, toplum çalışmalarında elektromanyetik alanlarla kanser arasında güçlü bir ilişki görülemediği belirlenmiştir [59].

2.7.2 Kanser Türleri zerindeki Etkileri

Mesleki maruziyet altındaki bireylerin kendi bildirimleriyle yapılan bir çalışmada mikrodalga ve diğer radyo dalgalarına maruz kalmanın testis kanserine yakalanma olasılığını belirgin bir şekilde arttığı grlmştir. Washington Polis Departmanında yapılan çalışmada portatif radar tabancası kullanan polislerin sıklıkla testis kanserine yakalandığı grlmştir. Ancak Amerikan donanmasındaki radar sistemlerinin çalışanları incelendiğinde testis kanseri vakalarında anormal bir fazlalık görülmemiştir [70,71].

Cilt kanseri üzerine bireylerin kendi bildirimleriyle yapılan çalışmalarda radyo frekans dalgalarının cilt kanseri riskini arttırmadığı görülmüştür. Ancak cilt kanseri üzerine yapılan çalışmaların genelde küçük çaplı olduğu detaylı analizlerin yapılmadığı belirlenmiştir.

Vaka kontrol çalışmalarıyla belirlenen elektrik iletim ve dağıtım şirketlerinde çalışan darbeli elektromanyetik alanlara maruz kalan bireylerin akciğer kanserine yakalanma olasılığı yüksek oranda artmakta ve bu maruziyet seviyelerinin artmasıyla doğru orantılı olarak akciğer kanseri riski de artmaktadır. Ancak diğer birçok çalışmada akciğer kanseri riskiyle radyo frekans dalgaları arasında belirgin bir fark ortaya koyulmamıştır [70].

Almanya’da on yılı aşkın bir süre içerisinde mesleki olarak elektromanyetik alanlara maruz kalanlar üzerinde yapılan çalışmalarda beyin tümörü riskinde belirgin bir artış belirlenmemiştir. Avustralya’da yapılan vaka kontrol çalışmalarında radyo frekans elektromanyetik alanlara maruz kalmanın kanser riskini arttırdığıyla ilgili belirgin bir kanıt bulunamamıştır [70].

Bir cep telefonu kulakta tutulduğunda, elektromanyetik dalgaların en çok kulak ve yakınındaki beyin lobunda absorbe edilmesi beklenir. Cep telefonlarıyla ilişkilendirilen tümör ve kanser türlerini incelerken en yakın dereceden maruz kalan vücut bölgelerini incelemek daha makuldür. Cep telefonu görüşmelerini inceleyen vaka kontrol çalışmaları, kanser ve tümör oluşumlarının cep telefonunun kullanıldığı kulak ya da beyin yarım küresiyle belirgin bir ilişkisini tespit edememiştir [29].

2.7.3 Üreme Sistemi Üzerindeki Etkileri

Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar genellikle yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların somatik hücreler (kan hücreleri, kemik iliği, karaciğer hücreleri gibi) üzerinde yoğunlaşmıştır. Üreme hücreleri üzerinde yapılan çalışmalar sınırlı düzeyde kalmıştır.

Üreme hücreleri üzerindeki mutasyon frekansını inceleyen bir çalışmada yüksek frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalmanın mutasyon frekansını değiştirmedeği görülmüştür. 900 MHz’de düşük güçlü elektromanyetik alana maruz bırakılan fareler üzerinde yapılan çalışmalarda erkek üreme hücrelerinde her hangi bir azalma görülmemiştir [71].

RF radyasyonun anestezi etkisi altındaki kemirgenler üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalarda, üreme organlarında vücudun diğer bölgelerinde sıcaklık artışı tespit edilmiş olup doğurganlığın azaldığı görülmüştür. Aksini gösteren çalışmalarda ise hayvanların çok uzun süreli ya da büyük ısı değişimleri oluşturmeyen elektromanyetik alan maruziyetlerinde, üreme sisteminin çok az ya da hiç etkilenmediği belirlenmiştir [70].

Çok sayıda radyo ve Tv vericisinin bulunduğu bir alanda yapılan farelerin doğurganlığının incelendiği çalışmada laboratuvar ortamında tamamen mikrodalgalardan uzak yaşayan farelerin belirgin derecede daha doğurgan olduğu görülmüştür. Ancak dış ortamda incelenen farelerin dış etmenlerden etkilenmeye oldukça açık olması bu çalışmayı güvenilir kılmamaktadır [73].

2.7.4 Sinir Sistemi ve Genler Üzerindeki Etkileri

Sinir sistemi üzerinde yapılan birkaç çalışma incelendiğinde bazı genlerde etkileşim bu genlerin etkili olduğu proteinler üzerinde artış olduğu görülmektedir. Genler üzerine yapılan çalışmalar Çizelge 2.4’de özet halinde gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların genler üzerindeki etkileri

Gözlemlenen Etki	Maruziyet Seviyesi	Tepki	Yorumlar	Referans
c-fos proteini toksik boyaması	600 MHz, 20 dakika, SAR:9.3 W/kg	c-fos proteininde artış, vücut ısısında 1oC artış	Büyük bir davranış çalışmasının küçük bir kısmında	[74]
c-fos proteini toksik boyaması	0.25-2.5 GHz geniş bant darbeli, 2 dakika, max elektrik alan 250kV/m	c-fos proteininde değişim yok, vücut ısısında 0.5 oC’den az artış	Yüksek tepe değerli ultra geniş bant radyasyon	[75]
mRNA ve bazı proteinlerin sentezi	900 MHz darbeli, 4 saat, beyindeki SAR: 0.3-1.5 W/kg	Protein sentezinde bariz artış		[76]
mRNA ve bazı proteinlerin sentezi	1.6 GHz darbeli, 1 saat, beyindeki SAR: 0.3-11 W/kg	4 W/kg üzerindeki SAR değerlerinde	Uydu haberleşme sistemleri	[77]

		artan protein sentezi		
Vücut ısısı, mRNA ve protein sentezi	1.6 GHz darbeli modüle (iridium sinyali), 2 saat, SAR:0.16-5 W/kg	Belirgin bir etki yok	Uydu haberleşme sistemleri	[78]
c-fos proteini toksik boyaması	900 MHz darbeli, 1 saat, SAR: 4 W/kg	Etki yok		[79]
c-fos proteini toksik boyaması	900 MHz darbeli, 19 gün her gün 1 saat, SAR: 4 W/kg	Etki yok		[79]

Sinir sistemi her zaman RF elektromanyetik alan maruziyetine hassas olarak değerlendirilmiştir. 1970 ve 1980 yıllarında yapılan çalışmalar elektromanyetik dalgaların kalsiyum iyon akışını etkilediğini belirlemiştir.

Fareler üzerinde 900MHz GSM sinyallerinin kullanıldığı 7.5 W/kg SAR değeri için yapılan çalışmada m-RNA seviyelerinde değişimler gözlemlenmiştir. Bu değişimlerin 24 saat içinde yok olduğu belirlenmiştir. 7 günün üzerindeki maruziyetlerde ise herhangi bir değişimin meydana gelmediği görülmüştür [76].

900 MHz'de 0.4 W/kg SAR değeri için farklı yöntemlerle yapılan modellemeler sonucunda bazı proteinlerin sentezinde artış olduğu belirlenmiştir. Ancak her yöntem için farklı sonuçlar alındığı görülmüştür [77].

2.8 Yüksek Frekanslı Haberleşme Sistemleri

2.8.1. Birinci Nesil İletişim Teknolojileri 1G

1980 yılından sonra ortaya çıkan bu teknoloji analog iletişim tabanlı bir sistemdir. Analog verileri kullanan tek mobil iletişim teknolojisi olma özelliği taşır. Baz istasyonları ve hücre yapısı ilk kez bu sistemle ortaya çıkmıştır. Bu yapının ortaya çıkmasıyla geniş kapsama alanı, yüksek kullanıcı kapasitesi ve yük dağıtım olanağı avantajları mobil şebekelere sağlanmıştır. Ayrıca hücresel yapının bir gereği olarak hücreler arası geçiş (roaming) desteği sağlamasıyla istenilen her yerde kesintisiz görüşme yapılabilmektedir.

1G teknolojisi oldukça eski bir teknoloji olduğundan birçok dezavantajı da bulunmaktaydı. 1G şebekeler de veri iletişimi mümkün değildi. Ayrıca analog sinyaller girişime oldukça müsaitti ve bu sinyalleri isteyen herkes toplayabiliyor ve konuşmaları dinleyebiliyordu. Bu dezavantajlarından dolayı mobil telefonlar bu yıllarda yaygın değildi.

2.8.2. İkinci Nesil İletişim Teknolojileri 2G

İkinci nesil iletişim teknolojisi olan 2G cep telefonlarının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Birinci nesil sistemlere benzer olarak yine hücre sistemi kullanılır ancak iletilen veri sayısal veridir. Böylece şifrelenen verilere isteyen herkesin mümkün olmuyordu ve cep telefonları için en büyük sorunlardan biri olan mahremiyet problemi çözülmüştü. Bunun dışında da birçok yeniliği beraberinde getiren ikinci nesil teknoloji yüksek ses kalitesi, daha çok kullanıcı sayısı, kısa veri iletimi gibi teknolojileri hayatımıza soktu.

2G teknolojisi başlangıçta 850-900 MHz frekans bandını kullanıyordu. Daha sonra bu bandın yetersiz kalmasıyla 1800 MHz bandı da kullanıma açılmıştır. İkinci nesil iletişim sistemleri çok sayıda yenilik getirse de kısa sürede kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayamamaya başladı. GSM teknolojisinin sunduğu 9.6 kbps veri hızı kullanıcılar için yeterli gelmemeye başladı. Daha sonraları çıkarılan HSCSD teknolojisi veri hızını 43.2 kbps' a çıkardı. Son olarak GSM modülasyon tipi değiştirilerek kullanılan EDGE teknolojisi 380 kbps veri hızı sunsa da ikinci nesil iletişim teknolojileri cep telefonuyla internet kullanımının yaygınlaşmasını sağlayamadı.

2.8.3. Üçüncü Nesil İletişim Teknolojileri 3G

Üçüncü nesil iletişim teknolojileri ilk kez 1998 yılında Japonya'da ortaya çıkmıştır. 2002 yılında yaygınlaşarak Amerika'da 2003 yılında ise Avrupa'da kullanılmaya başlamıştır. Ülkemizde 3G hizmetinin faaliyete girmesi ise 2009 yılını bulmuştur. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından geliştirilen üçüncü nesil iletişim teknolojileri başlangıçta 2100 MHz frekans bandı için tasarlanmıştır. 3G sistemler 2G'ye göre birçok avantajı beraberinde getirmiştir. İsteğe bağlı sağlanabilen hız, yüksek hızda internet erişimi, yüksek hizmet kalitesi,

bakım ve işletme kolaylığı, mevcut şebekelerle birlikte çalışabilme ve kurulum maliyetinin düşüklüğü bazı önemli avantajları olarak sıralanabilir.

Geniş bantta internet hizmeti sunan üçüncü nesil iletişim teknolojisi cep telefonlarında internet kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır. Kullanılan arayüz ve hizmet sağlayıcıların standartlarına göre değişkenlik gösterse de kullanıcılar için minimum 2 Mbit/sn veri hızı maksimum 14 Mbit/sn veri hızı sunulabilmektedir. Hareket eden bir araçta ise internet hızı 348 kbit/sn olmaktadır. 3G teknolojisi 20 Mbit/sn'ye kadar veri hızlarını desteklese de bu hızları kullanıcıların görmesi zor olmaktadır. Bu sistemde diğer mobil iletişim teknikleri gibi hücresel ağ sistemini kullanmaktadır.

2.8.4. Dördüncü Nesil İletişim Teknolojileri 4G

İkinci nesil ve üçüncü nesil sistemlerin devamı olarak nitelendirilebilecek olan 4G teknolojisinin en büyük avantajı yüksek veri hızı sunmasıdır. Cep telefonlarında 100 Mbps ve Wi-Fi ağlarında 1 Gbps veri hızı sunabilen 4G mobil iletişimde önemli bir gelişme olmuştur. Başlıca avantajları şöyle sıralanabilir:

- Yüksek iletim hızı ve verimli bir sistem,
- Hücre yapısı içerisinde daha fazla kullanıcıya hizmet verebilme,
- Dünya üzerinde herhangi iki farklı noktada dahi yüksek veri hızı sunma,
- Mevcut standartlarla beraber çalışabilme özelliği,
- Paket anahtarlama güvenli bir ağ,
- Film ya da DVD'leri saniyeler içerisinde aktarabilme,
- Yüksek çözünürlüklü Tv yayınlarına ve başka medya dosyalarına kolayca erişim sağlayabilme,
- Diğer teknolojilerle ulaşılması mümkün olmayan, coğrafi yapısı gereği iletişim hizmeti götürülemeyen noktalara dahi yüksek veri hızlarının sağlanabilmesi,
- IP tabanlı sistem sayesinde hem şebekenin meşgul konuma gelmesinin güçleşmesi hem de esnek etkin maliyet kontrollü sistemin yeni internet hizmetlerine ulaşımı kolaylaştırması,

olarak sıralanabilir. Tüm bu özellikler 4G kullanımının oldukça yaygınlaşmasını sağlamıştır.

2.8.5. Beşinci Nesil İletişim Teknolojileri 5G

Beşinci nesil iletişim teknolojileri üzerinde çalışmaların devam ettiği yeni nesil kablosuz iletişim teknolojisi. Dördüncü nesil teknolojinin yaklaşık 10 katı veri hızı sunması hedeflenmektedir. 2020 yılına kadar çalışmaların tamamlanarak hizmete sunulması hedeflenmektedir.

Güney Kore’de yapılan çalışmalarda 7.5 Gbps sabit konum hızı ve 1.2 Gbps hareketli ortamdaki hızla yapılan veri aktarımı bugüne kadar kablosuz ortamda mobil iletişim teknolojileriyle yapılan en yüksek veri aktarım hızı olarak tarihe geçmiştir.

Beşinci nesil teknolojiler için yapılan çalışmalarda yedi temel dayanak üzerinde durulmaktadır. Bunlar, maksimum veri hızı, spektral verimlilik, mobilite hızı, hücre sınırında veri iletim hızı, eşzamanlı bağlantı sayısı, iletişim gecikmeleri ve maliyettir.

Bu teknolojinin hayata geçmesiyle öngörülen artık aktarılan veri ne kadar büyük olursa olsun bant genişliği sorununun yaşanmayacağıdır. Ancak bant genişliğinin bu denli geniş olması milimetrik dalga bantlarını kullanmayı gerektirmektedir. Bu frekans bandındaki elektromanyetik alanların uzun mesafelere aktarımı ve olumsuz yayılım özellikleri teknolojik gelişmelerle aşılmaktadır.

2.9 Temel Elektromanyetik Dalga Denklemleri

Elektromanyetik alanlar için en temel denklemler J. C. Maxwell tarafından düzenlenmiş diferansiyel denklemlerle gösterilmektedir. Yaklaşık 150 yıl önce belirlenen bu denklemler hala geçerliliğini korumaktadır. Okullarda elektromanyetik alan teorisi halen bu denklemlerle öğretilmektedir.

2.9.1. Kompleks Yazılımlarıyla Maxwell denklemleri

Diferansiyel biçimde yazılmış Maxwell denklemleri 2.10, 2.11, 2.12, 2.13’de gösterilmiştir [80].

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_C + \vec{J}_D = \vec{J}_C + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.10)$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.11)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.12)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.13)$$

Bu denklemlerde “ t ” zamanı, “ $\vec{J}_C = \sigma \vec{E}$ ” ortamın iletim akım yoğunluğunu, “ $\vec{E}$ ” elektrik alan şiddeti vektörünü, “ $\vec{D}$ ” deplasman akı yoğunluğu vektörünü, “ $\vec{B}$ ” manyetik alan yoğunluğu vektörünü, “ $\vec{H}$ ” manyetik alan şiddeti vektörünü, “ ρ ” hacimsel yük yoğunluğunu göstermektedir.

$\vec{D}$ ve $\vec{E}$, $\vec{B}$ ve $\vec{H}$ arasındaki ilişkiler doğrusal ve izotropik ortamlar için denklem 2.14’te gösterilmiştir.

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}, \vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.14)$$

“ $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ ” ortamın dielektrik sabiti, “ ϵ_r ” bağıl dielektrik geçirgenlik, “ ϵ_0 ” boşluğun dielektrik sabiti, “ $\mu = \mu_r \mu_0$ ” ortamın manyetik geçirgenliği, “ μ_r ” bağıl manyetik geçirgenlik, “ μ_0 ” boşluğun manyetik sabitidir.

İletim akımının “ $\vec{J}_C = 0$ ” ve serbest yükün olmadığı “ $\rho = 0$ ” serbest uzayda Maxwell denklemlerini basitleştirmek mümkündür. Tüm bu denklemler elektromanyetik alan türlerini modellemek için kullanılabilir. Çeşitli harmoniklerin toplamıyla ifade edilen elektromanyetik dalgaları değerlendirmek ve ortam içerisindeki davranışlarını önceden kestirmek mümkün olabilir. Bu şekilde teorik analizler yapmak pratikte meydana gelecek problemleri erken fark etmek açısından önemlidir.

2.9.2. Temel Elektromanyetik Dalga Denklemleri

Düzgün ve izotropik ortamda F dalga olaylarının genel denklemi 2.15’teki şekilde yazılır.

$$\nabla^2 F - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 F}{\partial t^2} = f(x,y,z,t) \quad (2.15)$$

“ v ” burada dalganın ortamdaki yayılım hızını ifade etmektedir. D’Alambert non homojen denklemi tanımı bu tür denklemler için geçerlidir. $f(x,y,z,t)=0$ olduğu durumda (2.14 eşitliği) homojen D’Alambert denklemi veya homojen dalga denklemleri adını alır. Laplace operatörü olarak tanımlanan “ ∇^2 ” kartezyen koordinatlarda denklem 2.16’deki şekilde gösterilir.

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2.16)$$

Yukarıda verilmiş olan Maxwell denklemleri matematiksel işlemlerle 2.15'te verilen denkleme dönüştürülebilir. Pratik uygulamalarda kullanılan kompleks dalga denklemleri 2.17 ve 2.18'deki şekilde gösterilir.

$$\nabla^2 \vec{E} + \omega^2 \epsilon \vec{E} = 0 \quad (2.17)$$

$$\nabla^2 \vec{H} + \omega^2 \epsilon \vec{H} = 0 \quad (2.18)$$

Bu denklemler sistemine Helmholtz denklemleri de denir. “ ϵ ” ve “ μ ” gerçek değerleriyle homojen Helmholtz denkleminde yerine yazılırsa denklem 2.19 ve 2.20 elde edilir.

$$\nabla^2 \vec{E} = \gamma^2 \vec{E} \quad (2.19)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \gamma^2 \vec{H} \quad (2.20)$$

$\gamma = \alpha + j\beta$ dalga yayılma sabiti olarak nitelendirilebilir. α ve β birer pozitif gerçek sabit sayı ise denklem 2.21 sönme katsayısını, 2.22 ise faz katsayısını tanımlar.

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1 \right]} \quad (2.21)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1 \right]} \quad (2.22)$$

2.9.3. Dipol Antenler ve Elektromanyetik Dalga Yayılımı

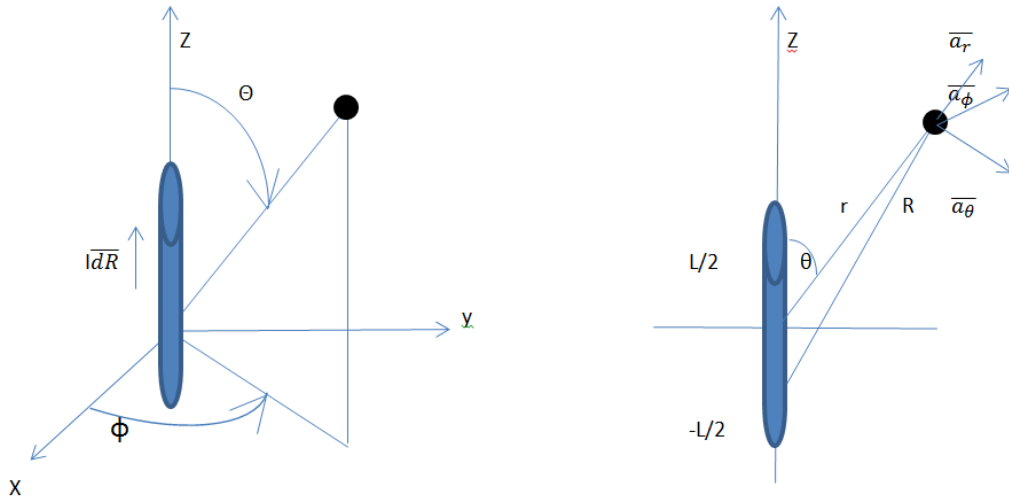
Elektromanyetik dalga ortam içerisinde yayılımını açıklamak için Maxwell denklemleri kullanılmaktadır. Bu denklemler elektrik akımının boşluk yada dielektrik bir ortamda elektrik akımının deplasman akımı olarak dolaşmasını açıklamaktadır. Deplasman akımının dolaşması ise bir manyetik alan oluşturacaktır. Ortamda deplasman akımı dolaşması için bir elektromanyetik dalga yayılımı gereklidir. Doğal olmayan elektromanyetik dalgalar ancak antenler vasıtasıyla yayılabilir. Antenler belirli koşullar altında ancak verimli çalışabilirler. Bu şartlardan en önemlisi antenin minimal enerjiyle çalışması şartıdır. Antenler kendi kendilerine ışıma yapmamalı yani reaktif davranış sergilememelidir. Antenlerin reaktif enerjisi arttıkça yayılma bandı daralır kayıplar artmaya başlar. Düşük reaktif enerjiyle yayın yapabilen anten çeşidi dipol antenlerdir. Dipol antenler yayılacak ya da toplanacak olan elektromanyetik dalga boyundan kısa uzunluktaki bir iletkenle oluşturulur. Bu iletken üzerinde bir akım akmaya başlar. Bu akımın

genlik ve fazı genellikle sabittir. Dipol antenin oluşturduğu elektromanyetik alanı belirlemek teoride sınırsız bir düzlemdeki homojen ortam için sonsuz sayıdaki akım elemanının incelenmesi gerekmektedir. Bu sonsuz sayıdaki küçük akım elemanının oluşturduğu potansiyel bir vektördür ve denklem 2.23, 2.24'deki şekilde gösterilir [80,81].

$$\bar{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_{-\frac{\ell}{2}}^{\frac{\ell}{2}} \frac{Id\ell e^{-jkR}}{R} \bar{a}_z \quad (2.23)$$

$$\text{Burada; } R = \sqrt{r^2 + L^2 - 2rL \cos \theta} \text{ ve } -\frac{L}{2} \leq \ell \leq \frac{L}{2} \quad (2.24)$$

2.22'deki eşitlik hesaplanırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, antenden gözlem noktasına kadar olan uzaklık dipol boyutlarından yeterince büyük olması ve dalga boyunun dipolden çok küçük olmasıdır. Bu durum sağlandığında 2.23'teki denklemi daha fazla sadeleştirmek mümkün olacaktır.



Şekil 2.5. Elektrik (Hertz) dipolün koordinatları ve prensipleri

” $\bar{a}_z = \cos \theta \bar{a}_r - \sin \theta \bar{a}_\theta$ ” küresel koordinat sisteminde sağlandığından,

$$\bar{A} = \frac{\mu I \ell}{4\pi r} e^{-\beta r} (\cos \theta \bar{a}_r - \sin \theta \bar{a}_\theta) \quad (2.25)$$

2.25'teki denklemde $\bar{A}$ manyetik potansiyele göre hedef bölge için fazör alanları 2.26'teki denklemle sağlanır.

$$\bar{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \bar{A} = \frac{v}{z} \nabla \times \bar{A} \quad (2.26)$$

$$\bar{E} = \frac{v}{j\beta} \nabla_x \nabla_x \bar{A} \quad (2.27)$$

“ $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ ” ortamda dalga yayılım hızı olarak tanımlanırken, “ $\beta = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$ ” yayılan dalganın faz katsayısı, “ Z ” ise dalganın empedansı olarak tanımlanmaktadır. Boşlukta $v = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, $Z = Z_0 = 120\pi \Omega$ ’dur.

2.25’teki denklem dikkate alındığında, 2.26 ve 2.27 denklemlerindeki $\vec{E}$ elektrik alan vektörüyle $\vec{H}$ manyetik alan vektörünün bileşenleri belirlemek oldukça kolay olmaktadır.

$$\vec{H} = H_\phi \vec{a}_\phi = \frac{l\ell}{4\pi} \beta^2 \sin \theta e^{-j\beta r} \left[\frac{j}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} \right] \vec{a}_\phi \quad (2.28)$$

$$\begin{aligned} \vec{E} &= E_\theta \vec{a}_\theta + E_r \vec{a}_r = Z \frac{2l\ell}{4\pi} \beta^2 \cos \theta e^{-j\beta r} \left[\frac{1}{\beta^2 r^2} - j \frac{1}{\beta^3 r^3} \right] \vec{a}_r + \\ &Z \frac{l\ell}{4\pi} \beta^2 \sin \theta e^{-j\beta r} \left[j \frac{1}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} - j \frac{1}{\beta^3 r^3} \right] \vec{a}_\theta \end{aligned} \quad (2.29)$$

2.28 ve 2.29’deki denklemler $\vec{E}$ elektrik alan vektörü ve $\vec{H}$ manyetik alan vektörlerinin kompleks değerlerinde elde edilmiştir. $e^{j\omega t}$ operatörüyle çarpmak suretiyle $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ vektörlerinin ani değerleri elde edilebilir;

$$E = \text{Re} \{ \vec{E} e^{j\omega t} \} \quad (2.30)$$

$$H = \text{Re} \{ \vec{H} e^{j\omega t} \} \quad (2.31)$$

Yukarıdaki denklemlerden görüleceği üzere elementer dipolün $\vec{E}$ alanının E_r ve E_θ olmak üzere iki bileşeni ve $\vec{H}$ alanının H_ϕ olmak üzere tek bileşeni vardır. Bundan dolayı ortamın her bir noktasında $\vec{E}$ elektrik alan vektörü ile $\vec{H}$ manyetik alan vektörü birbirine dik olarak bulunmaktadır.

$\vec{H}$ ve $\vec{E}$ vektörlerinin eşitlikleri incelendiğinde buradaki parametreler dipol ile olan r uzaklığına bağlı değişimleri $(\frac{1}{\beta r})$ parametrelerine göre göstermektedir. $\beta r \gg 1$ olması durumunda $(\frac{1}{\beta r})^2$ ve $(\frac{1}{\beta r})^3$ ihmal edilebilir, $\beta r \ll 1$ olması durumunda $\vec{E}$ vektörüyle ve $\vec{H}$ vektörünün denklemlerinde $(\frac{1}{\beta r})^3$ katsayılı ifadeler daha etkili olur.

Bundan dolayı Hertz dipolün çevresindeki bölgeler üçe ayrılmaktadır

a) Uzak bölge ($\beta r \gg 1$); b) Yakın bölge ($\beta r \ll 1$); c) Geçici bölge ($\beta r \sim 1$).

Ayrıca $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ olduğundan $\beta r \gg 1$, $\beta r \ll 1$ ve $\beta r \sim 1$ şartları sırasıyla $2\pi r \gg \lambda$, $2\pi r \ll \lambda$ ve $2\pi r \sim \lambda$ şeklinde değerlendirilebilir. Hertz dipol çevresindeki bu bölgelerin her birinde elektromanyetik dalgaların yayılımları farklı olacaktır.

2.9.4. Uzak Alan Bölgesinde Elektromanyetik Dalga Davranışları

Uzak alan bölgesi $2\pi r \gg \lambda$ olarak gösterilen bölgedir. Bu bölgede yukarıdaki denklemlerden de anlaşılacağı üzere E_R ihmal edilebilir. E_θ ve H_ϕ parametreleri ise $(\frac{1}{\beta r})^2$ ve $(\frac{1}{\beta r})^3$ değerleri ve $(\frac{1}{\beta r})$ terimine göre ihmal edilebilir. Bu durumda $\bar{E}$ elektrik alan vektörü ve $\bar{H}$ manyetik alan vektörünün kompleks tanımları 2.32 ve 2.33 denklemindeki gibi yazılabilir.

$$H_\phi = j \frac{I\ell\beta}{4\pi r} \sin \theta e^{-j\beta r} \quad (2.32)$$

$$E_\theta = Z \frac{jI\ell\beta}{4\pi r} \sin \theta e^{-j\beta r} = ZH_\phi \quad (2.33)$$

Bu denklem, büyüklüğü $1/r$ ile doğru orantılı azalan ve $+\bar{a}_r$ yönüne doğru yayılan ıraksak bir küresel dalgayı gösterir.

Elektrik dipolünce yayılan güç uzak alan bölgesindeki ortalama Poynting vektörünün büyük çaplı bir küre yüzeyi üzerinden ($\beta r \gg 1$) integrali alınmak suretiyle elde edilebilir.

$$\overline{P_{ort}} = \frac{1}{2} \text{Re} [\bar{E} \times \bar{H}^*]; \quad P_{ışınım} = \oint \overline{P_{ort}} d\bar{s} = Z \frac{\pi I^2}{3} \left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2 \quad (2.34)$$

Dalga empedansı boşluk ortamı için $Z=Z_0=120\pi \Omega$ olacağından, uzak alan bölgesindeki ışıma gücü denklem 2.34'teki gibi olacaktır.

$$P_{ışınım} = 40\pi^2 I^2 \left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2 \quad (2.35)$$

2.9.5. Yakın Alan ve Geçici Bölgede Elektromanyetik Dalga Davranışları

Yakın alan bölgesi $2\pi r \ll \lambda$ olarak gösterilen bölgedir. Fakat elementer dipol için $r \gg \ell$ olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı yakın bölge normalde $\ell \leq r \leq \lambda/2\pi$ şeklinde gösterilen bölgedir. Bu bölgede yukarıdaki denklemlerde $1/(\beta r)^2$ ve $(1/\beta r)$ değerleri ihmal edilerek yakın bölge için 2.36, 2.37 ve 2.38'deki denklemler elde edilmiştir.

$$\bar{E}_r = -jZ \frac{Id\ell}{4\pi\beta r^3} \cos \theta e^{-j\beta r} \quad (2.36)$$

$$\bar{E}_\theta = -jZ \frac{Id\ell}{4\pi\beta r^3} \sin \theta e^{-j\beta r} \quad (2.37)$$

$$\bar{H}_\phi = \frac{Id\ell}{4\pi r^2} \sin \theta e^{-j\beta r} \quad (2.38)$$

Yakın alan bölgesinde $r \ll \frac{\lambda}{2\pi}$ olduğuna göre $e^{-j\beta r} \rightarrow 1$ olacağını da düşünebiliriz. Böylece manyetik alan vektörü 2.39'deki gibi olur. Bu durum akım elemanının çevresinde oluşan manyetik alana benzerdir [80].

$$\vec{H} = \frac{I\ell}{4\pi r^2} \quad (2.39)$$

Elementer dipolün yakın alan bölgesinde oluşturduğu manyetik alan, Biot-Savart kanununa göre elementer akım elemanı tarafından oluşturulan manyetik alanla aynıdır. Böylece akım elemanının sabit olan akımı, dipolün akımına eşit olur.

Yakın alan bölgesindeki elektrik alan $\vec{p} = q \ell \vec{a}_z$ elektrostatik dipolünün oluşturduğu elektrik alan ile aynıdır. Böylece buradaki elektrik yükünün elementer dipolün uçlarındaki yüke eşit olacağı düşünülmektedir.

Yakın alan bölgesinde $\vec{E}$ elektrik alan vektörüyle $\vec{H}$ manyetik alan vektörü arasındaki faz farkı 90° 'ye eşittir. Bundan dolayı Poynting vektörü sanal bir ifade olacak ve ortalama değeri sıfır olacaktır. Ancak bu durum bize ışıının oluşmadığını gösterecektir. $(1/\beta r)$ ifadesi uzak alan bölgesinde olduğu gibi yakın alan bölgesinde de elektromanyetik alanla doğru orantılı bir biçimde değişmektedir. Böylece oluşacak olan elektromanyetik alan E_R, E_θ ve H_ϕ değerlerinin mutlak değerlerinden küçük olacaktır. Sonuç olarak yakın alan bölgesinde ihmal edilemeyecek kadar bir ışıının meydana gelmesi kaçınılmazdır.

Geçici bölge ise yakın alan bölgesinden uzak alan bölgesine geçişin sağlandığı bölümdür. Bu bölgede denklemlerde yer alan $(\frac{1}{\beta r})$ ve dereceli değerlerin hiçbirinin ihmal edilmesi mümkün değildir. Reaktif alanlar ve ışıılar geçici bölgede de son derece etkili olacaktır.

2.27 ve 2.28'de yer alan denklemler dipolün yaydığı elektromanyetik dalgaların yapısını göstermeyi sağlayabilir. Yakın alan bölgesinde yayılan elektromanyetik ışıının şekli silindirik ve eliptik bir şekilde iken, uzak alan bölgesindeki ışıının küresel bir şekle bürünmektedir.

2.9.6. Anten Parametrelerinin Belirlenmesi

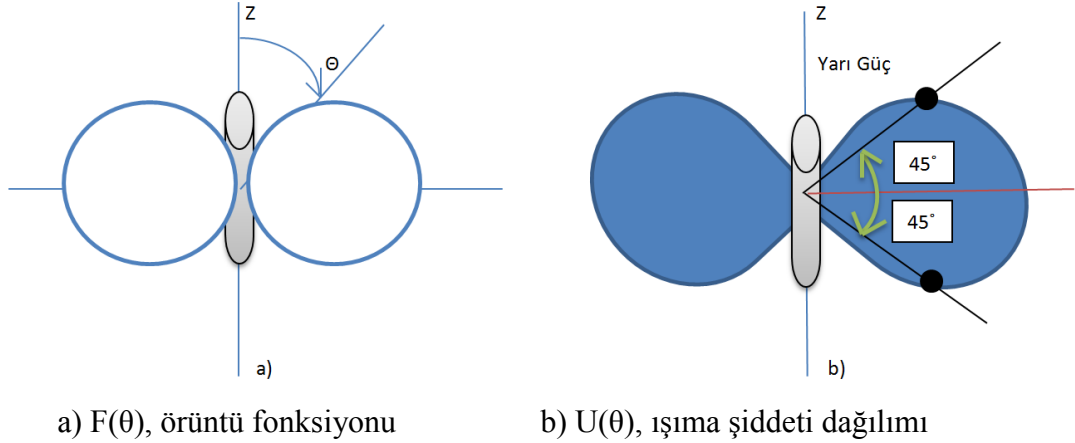
Antenlerin çalışması sırasındaki verimleri oldukça önemlidir. Yayılım alanı ve sinyal kalitesi doğrudan anten parametreleriyle ilgilidir. Aynı akımla çalıştığında antenin yaydığı güce eşit hayali dirence ışıma direnci ($R_{ışıma}$), uzak alan

bölgesindeki elektrik alan ve manyetik alan genliklerinde meydana gelen genlik değişimlerine örüntü fonksiyonu $F(\theta, \phi)$, her birim anten yayılım açısı için ortalama ışıma gücü ışıma şiddeti $U(\theta, \phi)$, aynı zamanda anten performans ölçütü olarak tanımlanır. Antenin yönlü kazancı $D(\theta, \phi)$ ise ışıma şiddeti $U(\theta, \phi)$ 'nin toplam U_0 ışıma gücüne oranı olarak verilebilir. D_{max} antenin yönlü kazancının maksimum değeridir. Işıma verimi antenler için $\eta_{ışıma} = \frac{P_{ışıma}}{P_{giriş}}$ olarak tanımlanır. $P_{giriş}$ terimi antenin kaynaktan çektiği ortalama güç olarak tanımlanabilir.

Elektrik dipolü bir antenin uzak alan bölgesindeki parametreleri 2.40'daki denklemlerle gösterilebilir. P_L antenin omik kaybını temsil etmektedir.

$$\begin{aligned} R_{ışıma} &= \frac{2\pi Z}{3} \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 \approx 790 \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 (\Omega); \quad U(\theta) = \frac{Z}{8} \left(\frac{IL}{\lambda}\right)^2 \sin^2 \theta; \quad U_0 = \frac{P_{ışıma}}{4\pi}, \\ D(\theta, \phi) &= \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{ışıma}}; \quad D_{max} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{ışıma}}; \quad D(\theta, \phi) = 1.5 \sin^2 \theta, \quad D_{max} = 1.5; \\ G(\theta, \phi) &= \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{ışıma} + P_L} \end{aligned} \quad (2.40)$$

Dipol antenin ışıma şiddeti dağılımı ve $F(\theta)$ örüntü fonksiyonuyla ilgili kutupsal eğriler Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Hertz dipolünün dalga dağılımının kutupsal eğrileri

Şekilde görüldüğü üzere dipolün merkezinde radyal yönde yayılan enerji yarıçap boyunca ilerlemektedir. $\vec{E}$ elektrik alan vektörü ve $\vec{H}$ manyetik alan vektörünün oranı ortamdaki dalga empedansına (Z) eşittir.

$$Z = \frac{E_\theta}{H_\phi} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (2.41)$$

Dalga'nın empedansı boşlukta sabit bir değer alır.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \cong 377\Omega \quad (2.42)$$

2.9.7. Yakın ve Uzak Alan Bölgesinin Sınırlarının Belirlenmesi

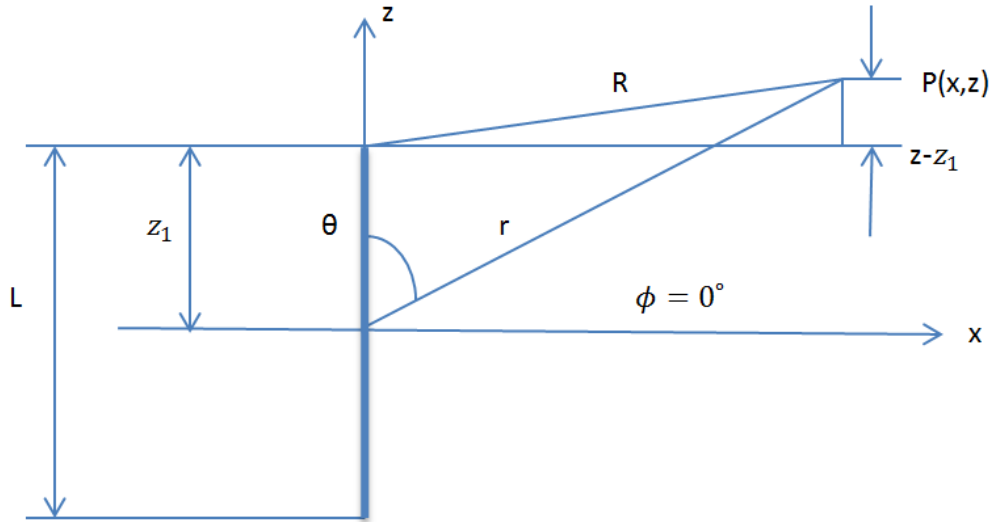
Yakın alan bölgesiyle uzak alan bölgesi arasındaki geçiş pratikte dalga boyunun faz farkının 22.5° olduğu mesafe olarak belirlenmiştir. $r_f = \frac{2L^2}{\lambda}$ formülüne göre “ λ ” dalga boyu ve “L” söz konusu antenin çap uzunluğu ya da kenar uzunluğudur.

Normal şartlarda farklı frekanslar için aynı anten kullanılması durumunda r_f değeri frekansla birlikte artar. Ancak pratikte kullanılan antenler farklı frekanslar içinde aynı özelliği göstermektedir. Ayrıca anten tasarımında “L” anten çapı, dalga boyunun bir fonksiyonu olarak gerçekleştirilir.

Örneğin 10λ bir anten için $f = 6\text{GHz}$ frekansta $L = 50\text{cm}$ ve $r_f = 10\text{m}$ olacaktır. Ancak 10λ bir anten $f = 60\text{GHz}$ ‘de $L = 5\text{cm}$ ve $r_f = 1\text{m}$ olacaktır.

Bu dipollerin her zaman noktasal kaynak olarak düşünülmesi doğru değildir. Elementer akım elemanı (Idl) çok küçük değerlerde olsa da ($dl \ll \lambda$) pratikte bu böyle olmayabilir. Bu yüzden gerçekenmiş antenler dipoller dizini şeklinde gösterilebilir.

Şekil 2.7’de bir dipol antenin yakın bölge geometrisi gösterilmiştir. Işınım noktası P(x,z) olursa bu noktanın antene olan uzaklığı r ve R terimleriyle belirlenir. Bu şartlar şekilde de görüldüğü üzere silindirik koordinatlarda geçerlidir.



Şekil 2.7. Bir dipol antenin yakın alan bölgesi geometrisi

$$r^2 = x^2 + y^2; \quad z = r \cos \theta; \quad x = r \sin \theta;$$

$$R = \sqrt{x^2 + z^2 - 2zz_1 + (z_1)^2} = \sqrt{r^2 + [-2(r \cos \theta)z_1 + (z_1)^2]} \quad (2.43)$$

Denklem 2.43’de verilen denklem açılarak yüksek kuvvetli terimler ihmal edildiğinde denklem 2.44’ü elde etmek mümkündür.

$$R = r - z_1 \cos \theta + \frac{(z_1)^2 \sin^2 \theta}{2r} \quad (2.44)$$

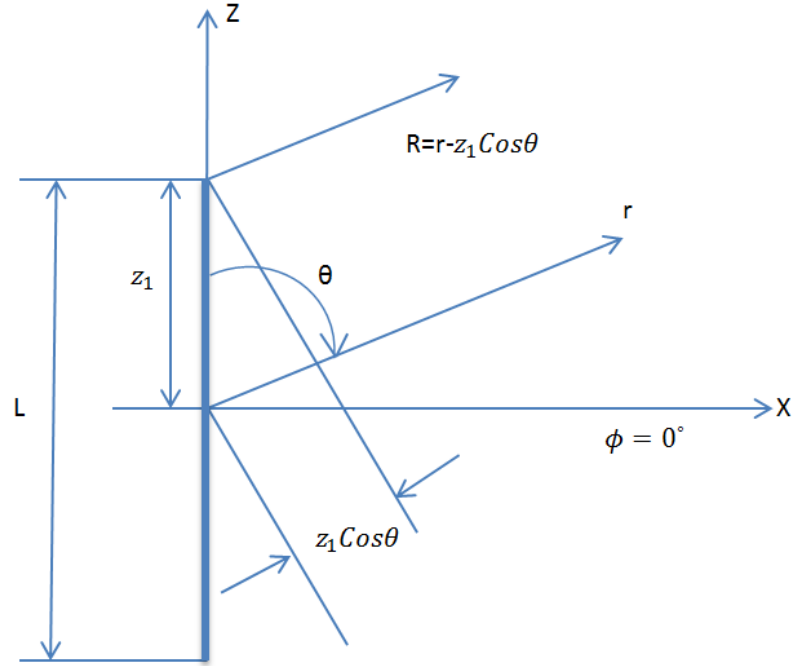
Yakın alan bölgesinden çıkılıp uzak alan bölgesinin başladığı uzaklık (r_f), 2.43’deki denkleme bakılarak “ $\lambda/16$ ”ya eşit olacağı r uzaklık olarak belirlenir. R uzaklığı belirlenirken antenle ışıma noktası arasındaki açı $\theta=90^\circ$ olarak belirlenirse denklem 2.45’deki eşitlik bulunur.

$$\frac{z_1^2}{2r_f} = \frac{\lambda}{16} \quad (2.45)$$

$z_1 = \frac{L}{2}$ olarak alınırsa denklem 2.46 elde edilir.

$$r_f = \frac{16(L/2)^2}{2\lambda} = \frac{2L^2}{\lambda} \quad (2.46)$$

Literatürde bu ifade uzak alan bölgesinin başlangıç noktası olarak yer almaktadır. Uzak alan bölgesi için $r \gg L$ veya $r \gg \lambda$ olarak kabul edilirse bu defa uzak alan bölgesi geometrisi Şekil 2.8'deki şekliyle sadeleşir.



Şekil 2.8. Bir dipol antenin uzak alan bölgesi geometrisi

Uzak alan bölgesinde elektromanyetik dalga yayılımının genellikle küresel koordinatlarda gerçekleştiğini söylemiştik. Buna göre denklem 2.47 elde edilir.

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad (2.47)$$

“ P_t ” antenin ışıma gücünü ifade etmektedir.

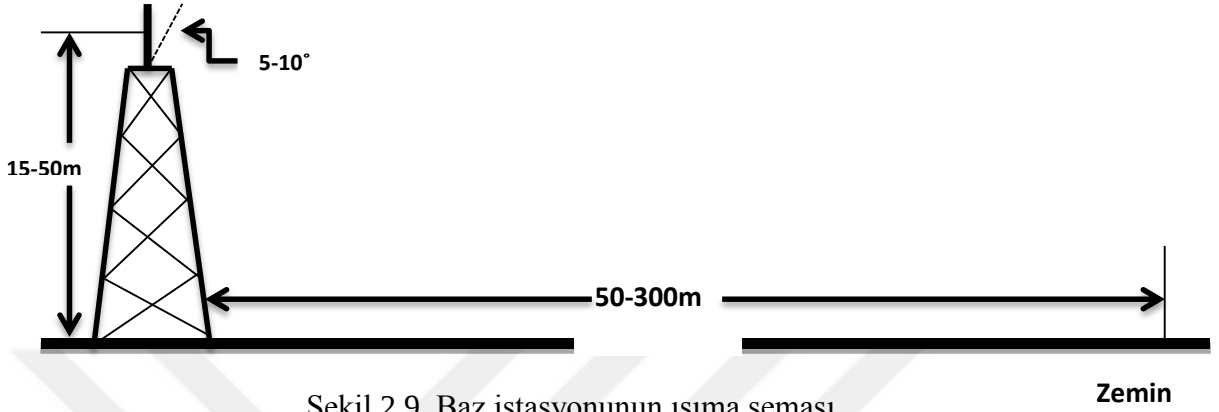
$\bar{E}$ elektrik alan vektörü ve $\bar{H}$ manyetik alan vektörü denklemlerinde hem sanal hem de reel içermesinden dolayı yakın alan bölgesinde reaktif güç meydana gelmektedir. Uzak alan bölgesindeki elektromanyetik dalga yayılımı için $r_f = \frac{2L^2}{\lambda}$ sınırına yakın uzak alan bölgesindeki uzaklık, $\theta = 90^\circ$ için denklem 2.48'deki şekilde gösterilebilir.

$$r = \sqrt{(L/2)^2 + r_f^2} \approx \frac{2L^2}{\lambda} + \frac{\lambda}{16}; \quad \frac{L}{\lambda} \gg 1 \quad (2.48)$$

Denklem 2.47 yaygın olarak uzak alan bölgesinin mesafesini belirlemekte kullanılan eşitliktir [82,83].

2.9.8. Yakın Alan ve Geçici Bölge Problemleri

Baz istasyonları belirli bir uzaklıktan sonra ışın yayılımı yapmaktadır. Bunun esas sebebi anten kulesinin yüksekliği ve anten açısıdır. Yeni nesil iletişim sistemlerinin kullandığı örnek baz istasyonu yapısı Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



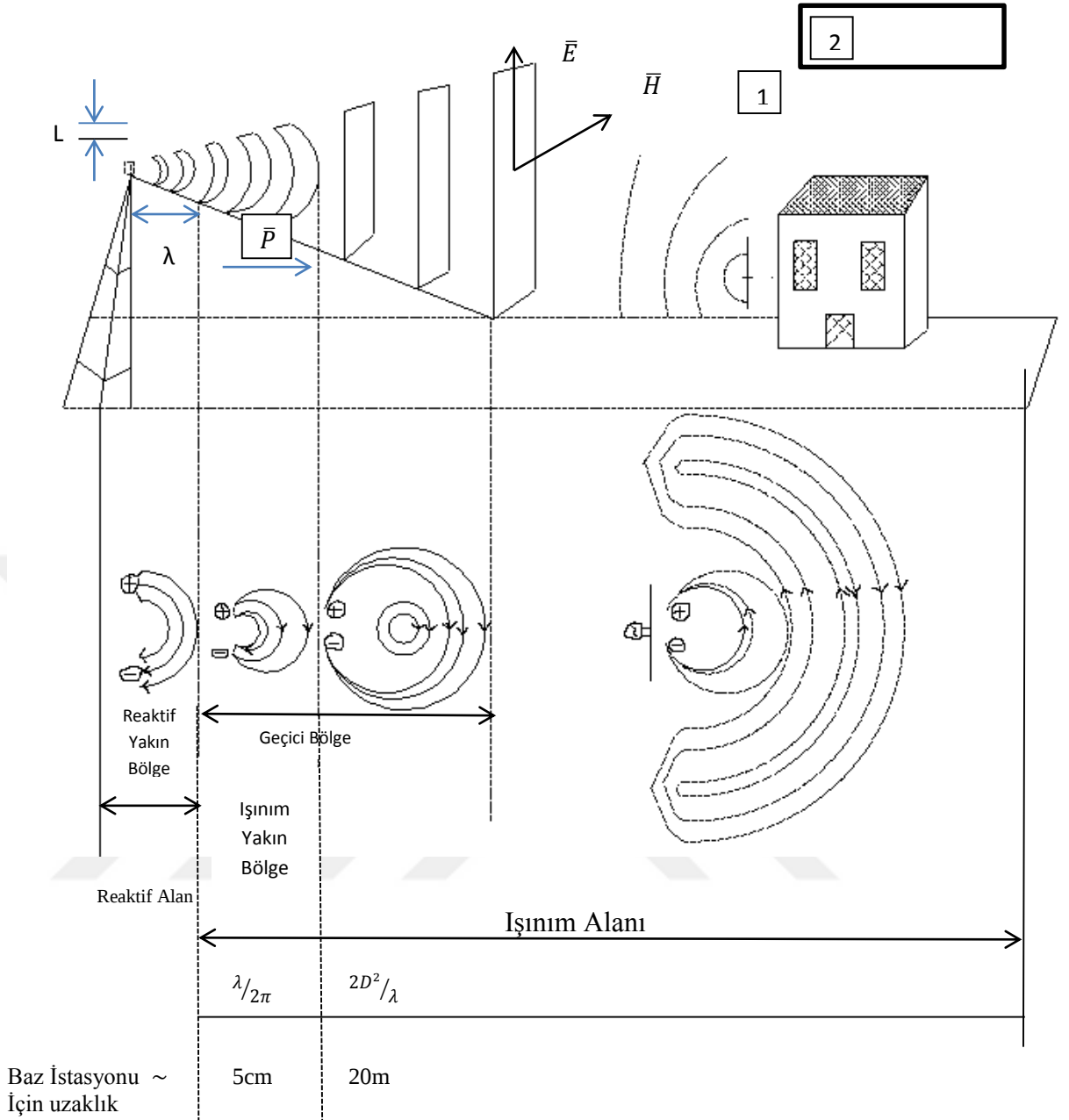
Şekil 2.9. Baz istasyonunun ışıma şeması

Yakın alan ya da uzak alan bölgesinde yer alan elektromanyetik alan ışımasına karar vermek oldukça zordur. Ancak yayılan dalgaların hangi bölgelerde olduğunu bilmek maruziyet etkilerini incelemek açısından oldukça önemlidir. Limit değerlerin belirlenmesinde de bu elektromanyetik alan yayılım bölgeleri referans alınmaktadır. Çizelge 2.5’te genel bir baz istasyonunun yakın alan ve uzak alan bölgesindeki sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. Bir baz istasyonunun yakın alan ve uzak alan bölgesi sınırları

Yakın bölge indüksiyon	Yakın bölge reaktif	Uzak bölge
$r \leq \frac{\lambda}{4}$	$\frac{\lambda}{4} \leq r \leq \frac{2L^2}{\lambda}$	$r \geq \frac{2L^2}{\lambda}$

Yakın alan bölgesinin en önemli özelliği $\vec{E}$ elektrik alan ve $\vec{H}$ manyetik alanın düzlem dalga karakteri göstermemesidir. Bu bölge daha çok reaktif birikimin meydana geldiği bölgedir. Uzak alan bölgesinde ise $\vec{E}$ elektrik alan ve $\vec{H}$ manyetik alan düzlem dalga özelliği göstermektedir. Yakın ve uzak alan bölgeleri anten boyutu, cinsi ve frekansa göre de değişiklik gösterebilir. tanımlarda, antenlerin yarattığı elektromanyetik dalgaların fazlarının eşit ve düzlemsel dalga oldukları durum için geçerlidirler. Dipol antenin oluşturduğu elektromanyetik alan bölgeleri karakteristik özellikler Şekil 2.10’da verilmiştir.



Etki sonuçlarının değerlendirilmesi

Etki Sonucu
SAR değerlerine göre
İncelenir.

Elektrik ve Etki sonuçları güç yoğunluğu dağılımına göre değerlendirilir.

Manyetik
alanlarının
ayrı ayrı
ölçülmesi
gereklidir.

Şekil 2.10. Bir baz istasyonunun elektromanyetik alan yayılım bölgeleri

L- anten boyutu, λ - elektromanyetik dalganın dalga boyu, 1- yansıtıcının oluşturduğu yakın ışıma alanı, 2-yansıtıcı nesne

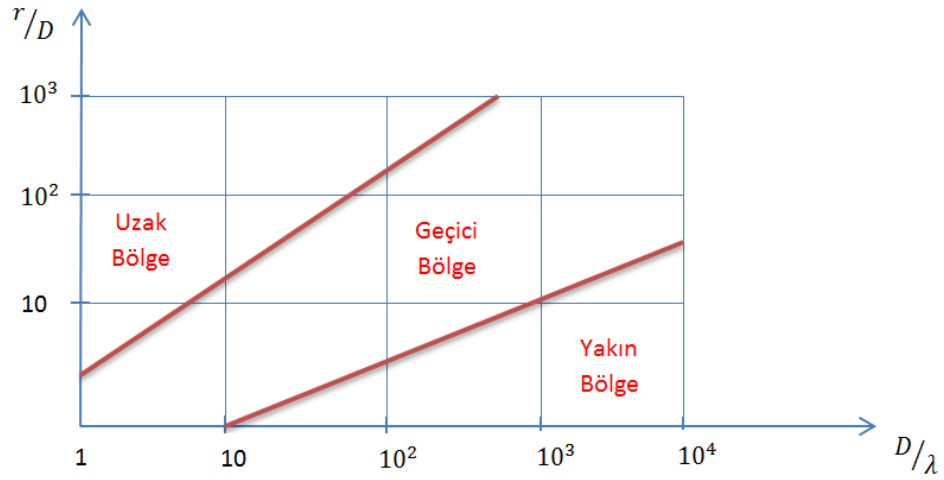
Kullandığı teknolojiye göre her bir baz istasyonunun yaydığı elektromanyetik alan bölgeleri farklı olabilir. Örneğin yeni nesil baz istasyonlarının yaygın olarak kullandığı Kathrein antenlerin sınır bölgeleri denklem 2.49’de gösterilmiştir [83-85].

$$r \leq 0.85 \frac{L^2}{\lambda}; \quad r \geq \lambda + \frac{2L^2}{\lambda} \quad (2.49)$$

Tüm bu etmenler göz önüne alındığında elektromanyetik dalgaların alan özelliklerini belirlemek ve bu bölgelerdeki biyolojik etki mekanizmalarının anlaşılması elektromanyetik dalgaların etkilerinin incelenmesinde büyük bir önem arz etmektedir. Yeni nesil haberleşme sistemlerinin elektromanyetik alan teorisi açısından incelenmesi yeterince irdelenmemiş bir konudur. Bunun başlıca nedeni son yıllara kadar kullanılan bu antenlerin radar sistemleri gibi sadece uzak alan bölgesinde çalışmasından kaynaklanmaktadır. Baz istasyonları gibi kablosuz haberleşme sistemlerinin bant genişliği yetersizliğinden dolayı sürekli daha yüksek frekansları kullanmaya başlaması giderek azalan dalağa boylarına neden olmakta dolayısıyla bu frekans bantlarında çalışmaların yoğunlaşması gerekmektedir [86-88].

Elektromanyetik dalga yayılım bölgeleri uzun zamandır araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Elementer dipol antenin oluşturduğu ışınım yayılımı ve sinüsoidal akımla beslenen bir dipol antenin oluşturduğu elektromanyetik alan bölgeleri belirlenmiştir [87,89]. Yeni nesil ve geleneksel antenlerin oluşturduğu elektromanyetik alan yayılım bölgeleri hem teorik hem deneysel çalışmalarla desteklenmiş, ölçüm teknikleri ve özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir [90,91].

Işınım kaynaklarının yaydığı elektromanyetik alanların çeşitli teori ve parametrelerle hangi alan bölgesinde yer aldığı belirlenebilmektedir. Buna göre bazı parametreler ışığında antenin yakın alan ya da uzak alan bölgesinde olup olmadığı belirlenebilmektedir. Şekil 2.11’de bazı parametrelere göre elektromanyetik alan yayılım bölgeleri verilmiştir [83].



Şekil 2.11. r , D ve λ parametrelerine göre elektromanyetik alan yayılım bölgeleri

Baz istasyonları tarafından kullanılan antenlerin yaydığı elektromanyetik dalgaların yakın alan ya da uzak alan bölgesinde olup olmadığı aşağıdaki genellemeler yardımıyla bulunabilir.

- Elektromanyetik dalga yayılımları yakın alan ve geçici bölgede iken reaktif ve ışınlım özelliklerini bir arada gösterebilir.
- Yakın alan ve geçici bölgede elektromanyetik alanlar silindirik ve eliptik yayılım özelliklerine sahiptir. Elektrik ve manyetik alan birimleri bu bölgede birbiriyle bağımlı bir şekilde değişmemektedir. Elektromanyetik alanlar bu bölgede dalga özelliğini yitirmektedir. Uzak alan bölgesinde ise elektromanyetik dalga yayılımı düzlemsel dalga formundadır. Küresel özelliklere sahiptir ve dalga özelliğini tam manasıyla gösterir.
- Yakın alan bölgesinde elektromanyetik dalga modeli enine ve boyuna değişimler gösterirken uzak alan bölgesinde elektromanyetik dalga modelinin yalnızca radyal yönde değiştiği dikey değişimin olmadığı bilinmektedir.
- Yakın alan bölgesi kendi içerisinde de üç ayrı bölgeye ayrılabilir. Bunlar, çok yakın bölge, salınım bölgesi ($\lambda \leq r \leq L^2/4\lambda$) ve uzak bölgedir. Bu bölgelerde de elektromanyetik alan parametreleri farklılık gösterir.
- Yakın alan bölgesinde reaktif enerji birikimi meydana gelir. Bu enerji herhangi bir ışınlım oluşturmaya da elektromanyetik dalga kaynağı etrafında bir güç meydana getirir.

- Elektrik alan ve manyetik alan birimleri yayılımın gerçekleştiği antenle olan uzaklıkla doğrudan bağlantılıdır.
- Yakın alan bölgesinde elektromanyetik dalganın sabit olduğu düşünülen Z empedansı farklılık gösterebilir. Z elektromanyetik dalga empedansını belirleyebilmek için ortamın fiziksel özellikleri ve ışınlam yapan antenin karakteristiği çok iyi bilinmelidir. Bundan dolayı yakın alan bölgesinde net bir elektrik ve manyetik alan değeri belirlemek çok zordur. Özel ölçüm düzenekleri gerektirir.
- Elektromanyetik dalgaların yakın alan ve uzak alan bölgesindeki karakteristik yapısı Çizelge 2.6’da gösterilmiştir. Yakın alan bölgesinden bir çok parametre kararlı yapıda değildir.
- Çizelge 2.7’de dipol antenin yaptığı ışınlamın alan bölgelerini tayin etmek amacıyla kullanılan iki boyutlu ve üç boyutlu modellerin ortaya koyduğu sonuçlar gösterilmiştir.
- Genel itibariyle ortamda bulunan elektromanyetik dalganın hangi yayılım bölgesinde olduğunu belirleyebilmek için karakteristik özelliklerden ve pratik incelemelerden yararlanılması gerekmektedir.

Çizelge 2.6. Yakın alan ve uzak alan bölgelerinde ölçüm kıyaslaması ([83]’den değiştirilerek alınmıştır.)

Parametreler	Yakın Alan Bölgesi	Uzak Alan Bölgesi
Ölçülen elektromanyetik alan bileşikleri	E, H ve W	E veya H ve mikrodalga W
Ölçülen diğer büyüklükler	I,T(SA,SAR) “HESTIA”	Önemli değil
Özel bileşenler	3	1 veya 2
Kutuplanma	Görünür elipsoid	Doğrusal veya eliptik
Ortam	Karma, çok yollu yayılma ve girişim	Çoğunlukla basit
Frekans spektrumu	Geniş, fazla saçaklanma	Çoğunlukla tek frekanslı
Antenler	Küçük, tüm yönlü	Rezonant, tek yönlü

Geçici ve özel elektromanyetik alan değişimleri	Önemli	Çoğunlukla önemsiz
Değişkenlik	3dB, 6dB veya daha fazla	1dB civarlarında
Sıcaklık duyarlılığı	Önemli	Düşük
Çevre etkisi	Önemli	Çoğunlukla önemsiz
Yöntem	Karmaşık	Basit
Teori ile uyum sağlaması	Mantıklı	İyi
Ölçüm düzeyi	$\frac{V}{m}, \frac{kV}{m}$	$\frac{V}{m}, \frac{mV}{m}$

Çizelge 2.7. İki ve üç boyutlu anten modelleri arasındaki ilişki

3 Boyutlu Model			2 Boyutlu Model	
Etkin alan bileşenleri			Etkin alan bileşenleri	
$1/r$	$1/r^2$	$1/r^3$	$1/r$	$1/r^2$ ve $1/r^3$
Uzak alan bölgesi		Yakın alan bölgesi	Uzak alan bölgesi	Yakın alan bölgesi
Fraunhofer bölgesi	Geçici bölge	Frenel bölgesi	Fraunhofer bölgesi	Frenel Bölgesi
Uzak alan bölgesi	İndüklenen alan bölgesi	Statik alan bölgesi	Uzak alan bölgesi	Reaktif Bölge
Uzak ışınlama alan bölgesi	Yakın ışınlama alan bölgesi	Reaktif alan bölgesi	İşinım alan bölgesi	İndüklenme alan Bölgesi
Uzak alan bölgesi	Geçici bölge	Görünür statik alan bölgesi	Uzak alan bölgesi	Statik veya Görünür statik alan bölgesi

2.8 Elektromanyetik Alan Ölçümlerinin Literatürdeki Yeri

Elektromanyetik alan ölçümleri çeşitli cihaz ve yöntemlerle farklı birimler kullanılarak yapılabilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar; elektrik alan, manyetik alan, güç yoğunluğu, özgül soğrulma oranı gibi değerleri ölçerek oluşan elektromanyetik kirliliği ortaya koymakta ya da elektromanyetik alanların canlılar üzerindeki etkilerini incelemektedir. Ölçümler ve canlıların üzerindeki etkilerin incelenmesinde gerçek ortamlar ve varlıklar kullanılabildiği gibi gelişmiş yazılım ve modelleme teknikleriyle sanal benzetimlerde yapılabilmektedir.

Finlandiya’da 2008 yılında yapılan bir çalışmada çatısında baz istasyonu antenleri bulunan bir ev ve etrafındaki elektromanyetik kirlilik seviyeleri ölçülmüştür. Mesafeye göre elektromanyetik kirliliğin değişimlerine değinilen çalışmada çeşitli sebeplerle çatı üzerinde çalışan görevlilerin dikkatli olması gerektiği vurgulanmıştır [92].

Konya’da 2008 yılında yapılan bir çalışmada cep telefonları frekanslarında ayrı ayrı ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre elektromanyetik güç yoğunluğu değerleri haritalar üzerinde gösterilmiştir. Elektromanyetik güç yoğunluğu seviyelerinin genel olarak baz istasyonları çevresinde arttığı görülmüştür [93].

An Najah Üniversitesi kampüsünde 2009 yılında yapılan çalışmada yüksek frekanslı elektromanyetik alanlar ölçülmüştür. Radyo TV frekansları ve cep telefonları frekanslarında ayrı ayrı yapılan ölçümler sonucunda en yüksek elektrik alan değerinin 0.11 V/m ile 900 MHz frekansta olduğu görülmüş bu değer uluslararası limitlerin altında kaldığı vurgulanmıştır [94].

Çukurova üniversitesinde 2009 yılında yapılan bir çalışmada düşük frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalan bireyler üzerinde bir anket çalışması yapılmış elde edilen sonuçlar doğrultusunda bazı sağlık problemlerinin elektromanyetik alanlarla ilişkili olabileceği belirlenmiştir [95].

Diyarbakır’da 2010 yılında yapılan bir çalışmada 100 kHz-3 GHz frekans aralığında yapılan geniş bant ölçümlerde en yüksek elektromanyetik alan değerleri baz istasyonları çevresinde görülmüştür. Yine baz istasyonları, radyo ve tv vericilerinin bulunduğu Telekom binası çevresinde en yüksek elektrik alan şiddetleri ölçülmüştür. Dinamik ölçümlerle elektromanyetik kirlilik haritalarının oluşturulduğu çalışmada ortalama 2.22 V/m, en yüksek 6.28 V/m elektrik alan değeri ölçülmüş toplamda 13000 örnek alınmıştır [96].

Zonguldak'ta 2010 yılında yapılan bir çalışmada 100 kHz-300 GHz frekans aralığında ölçümler yapılmış şehir merkezi genelinde ortalama 2 V/m değerinin altında elektrik alan şiddetleri ölçülmüştür. Ölçüm süresi boyunca toplam 20000 civarında elektrik alan şiddeti örneği alınan çalışmada en yüksek 10.67 V/m elektrik alan şiddeti değeri görülmüştür.. Ölçüm cihazı gps alıcısıyla birlikte bilgisayara bağlanarak şehir genelinde ölçümler yapılmıştır. En yüksek elektrik alan değerlerinin ölçüldüğü bölgeler genellikle radyo ve tv vericilerinin bulunduğu alanlardır [97].

İtalya'da 2010 yılında yapılan bir çalışmada bir ev içerisindeki yüksek frekanslı elektromanyetik alanların limit değerlerle karşılaştırılması ve risk faktörleri incelenmiştir. Cep telefonu görüşmesi sırasında bu alandaki limit değerlerin aşıldığı, mikrodalga fırın, kablosuz ev telefonu gibi sistemlerinse limit değerleri aşmasa da tamamıyla güvenli olmadığı savunulmuştur [98].

Malatya'da 2010 yılında yapılan bir çalışmada 100 kHz-2.5 GHz frekans aralığında şehir merkezi genelinde yapılan ölçümler yapılmıştır. Yapılan toplam ölçüm sayısı 15000'in üzerindedir. Şehir genelinde ortalama 2 V/m elektrik alan şiddeti değeri ölçülmüş oluşan elektromanyetik kirliliğin %77'sinin cep telefonu ve baz istasyonu kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca dinamik ölçümler yapılarak şehrin elektromanyetik kirlilik haritası çıkarılmıştır [99].

Suudi Arabistan'ın batı yakasında 2011 yılında yapılan bir çalışmada bölgedeki baz istasyonları ve çevresindeki elektriksel güç yoğunluğu değerleri ölçülmüştür. Mesafeye göre ölçüm değerlerinin paylaşıldığı çalışmada oluşan elektromanyetik kirliliğin uluslararası limit değerleri aşmadığı belirtilmiştir [100].

Sırbistan'da 2011 yılında yapılan çalışmada haberleşme sistemlerinin kullandığı yüksek frekanslı elektromanyetik alanlar ölçülmüştür. Ev içi, okul, hastane, sanayi bölgesi gibi farklı bölgelerdeki ölçümlerin karşılaştırıldığı çalışmada ölçüm değerlerinin %90'ından fazlasının 4 V/m elektrik alan şiddeti değerinden düşük olduğu gösterilmiş, yapılan ölçümler uluslararası limitleri aşmasa da yakın gelecekte sınır değerlere yaklaşabileceği öngörülmüştür [101].

Erciyes Üniversitesi kampüsünde 2011 yılında yapılan cep telefonları frekanslarındaki elektrik alan şiddeti ölçümlerinde sadece GSM900 ve GSM1800 frekans bandında ölçümler yapılmıştır. Frekans bantları küçük aralıklara bölünerek yapılan ölçümlerde 0.1 V/m gibi elektrik alan değerleri ölçülerek hangi frekans bantlarında doluluk olduğu araştırılmıştır [102].

Karaman’da 2012 yılında yapılan bir çalışmada 100kHz-3 GHz frekans aralığında olan y elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. 18000 ölçümün alındığı çalışmanın sonuçlarında yaklaşık olarak ölçüm değerlerinin yarısının 1-2 V/m elektrik alan şiddeti değeri görülmüştür. Elektrik alan şiddetinin en yüksek ölçüldüğü alan ise hastanelerin yoğun olarak bulunduğu bir bölge olduğu belirlenmiş en yüksek 4 V/m elektrik alan değeri tespit edilmiştir [103].

Umman’da 2012 yılında yapılan düşük frekanslı elektromanyetik alan ölçümlerinde elektrik iletim hatlarının oluşturduğu risk faktörleri incelenmiştir. Farklı gerilim değerlerindeki iletim hatlarında yapılan elektrik alan ve manyetik alan ölçümleri sonucunda uluslararası limit değerlerin aşılmadığı belirlenmiştir [104].

İsveç’te 2013 yılında yapılan ülke genelindeki ölçümlerde haberleşme sistemlerinin kullandığı bantlardaki elektromanyetik kirlilik değerleri paylaşılmıştır. 30 MHz-3 GHz frekans aralığında yapılan ölçümlerde bölgeler arasında çok farklı ölçüm sonuçlarının elde edildiği ve ülke genelinde geniş kapsamlı bir elektromanyetik kirlilik ölçümü yapıldığı vurgulanmıştır [105].

Kanada’da 2013 yılında yapılan çalışmada yüksek frekanslı elektromanyetik kirliliği kontrol altında tutabilmek için bir sürekli ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Elektromanyetik kirlilik seviyelerinin riskli olmadığı görülmüş, ancak sistemdeki bazı belirsizliklerin kirliliği olduğundan daha az ya da fazla gösterebileceğine değinilmiştir [106].

Rize şehir merkezinde 2014 yılında yapılan çalışmada 900 MHz, 1800MHz ve 2100 MHz frekans bantlarında ölçümler yapılmıştır. En yüksek 15.68 V/m elektrik alan değerinin ölçüldüğü çalışmada elektromanyetik kirlilikten güvenli bir bölge oluşturmanın yolları aranmıştır [107].

Marmara üniversitesinde 2014 yılında yapılan bir çalışmada 100 kHz-3 GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti ölçümleri yapılmış 1.1-2.5 V/m aralığında elektrik alan değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların büyük bir risk unsuru oluşturmadığı vurgulanmıştır [108].

Gaziantep’te 2014 yılında yapılan bir çalışmada şehir merkezindeki baz istasyonlarının çevresinde ölçümler yapılmıştır. Ölçülen elektriksel güç yoğunluğu değerlerinin ülkemizdeki limit değerlerle karşılaştırıldığı çalışmada limit değerleri aşan herhangi bir ölçüm değerine ulaşılamamıştır [109].

Mumbai şehir merkezinde 2014 yılında yapılan ölçümlerde yüksek frekanslı elektromanyetik alan seviyeleri risk faktörlerine göre sınıflandırılmıştır. Ölçümler sonucunda şehrin kalabalık noktalarının büyük bir bölümü tehlikeli bölge olarak nitelendirilerek gün geçtikçe artan elektromanyetik kirliliğe dikkat çekilmeye çalışılmıştır [110].

Arnavutluk'ta 2014 yılında yapılan bir çalışmada şehir şebeke frekansı, radyo verici frekansları, TV verici frekansları ve baz istasyonu frekanslarında ölçümler yapılmıştır. Limit değerlerle ölçülen değerlerin karşılaştırıldığı çalışmada özellikle enerji santrallerinde çalışanların risk altında olduğuna değinilmiştir [111].

Yapılan çalışmaların genelinde uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen veya ülkelerin kendi belirlediği sınır değerlerin aşılmadığı görülmüştür. İtalya, İsviçre gibi bazı ülkelerde limitlerin oldukça düşük seviyelerde tutulması sebebiyle bazı durumlarda limitleri aşabilecek değerler ölçülmüştür.

3. MATERYALLER ve YÖNTEM

3.1 Materyaller

Tez çalışmasında kullanılmış olan cihazların özellikleri ve kullanım şekilleri bu başlık altında incelenecektir.

3.2 SMP2 Elektromanyetik Radyasyon Ölçüm Cihazı

Elektromanyetik radyasyon ölçümü için kullanılan cihaz Wavecontrol firmasına ait SMP2 cihazıdır. Cihaz 7 farklı proba birlikte 1 Hz ile 18 GHz frekans aralığında elektromanyetik radyasyon ölçümü yapabilmektedir. Entegre GPS modülü sayesinde ölçüm yapılan konumun enlem ve boylam bilgilerini kaydedebilmektedir. 1Hz-400 kHz frekans aralığında spektrum analizi yapabilen cihaz diğer frekans bantlarında prob türüne göre belirlenmiş olan frekans bantlarında geniş bant ölçümler yapabilmektedir. X, Y, Z yönleri için ayrı ayrı ve toplam alan bilgilerini gerçek zamanlı LCD ekran üzerinden görmek mümkündür. Ekran görüntüsü alabilen cihazın fiber optik kablo veya USB kablo ile bilgisayara bağlanması mümkündür. Şekil 3.1’de SMP2 EMR ölçüm cihazının genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.1. SMP2 EMR ölçüm cihazı

Cihaza ilişkin teknik veriler ise Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Cihaz teknik özellikleri uluslararası ve ulusal standartlara uygun bir şekilde ölçüm yapmaya elverişlidir.

Çizelge 3.1. Wavecontrol SMP2 EMR ölçüm cihazı teknik verileri

Teknik Özellikler	Açıklama
Alan Problemleri	Otomatik algılama ve tanıma
Frekans Aralığı	1 Hz-18 GHz
Spektrum Analizi	1 Hz-400 kHz
Ölçüm Değerleri	X, Y, Z yönlerinde ve Toplam (anlık, maksimum, minimum ve ortalama)
Elektrik Alan Birimleri	V/m, kV/m, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, W/m^2 , %
Manyetik Alan Birimleri	nT, μT , mT, T, A/m, mG, %
Örnek Zamanı	0.5 sn ile 6 dk aralığında değiştirilebilir
Ortalama Alma Aralıkları	10 sn, 15 sn, 30 sn, 1 dk, 2 dk, 5 dk, 6 dk, 10 dk, 15 dk, 30 dk
Ölçüm Planlama	24 saate kadar ayarlanabilir
Bellek Kapasitesi	1 milyon örneğe kadar
Veri Aktarımı	Mini-USB ve Fiber Optik ile
Yazılım Güncelleme	Mini-USB ile
Ses	2400 Hz duyulabilir sinyal
Ekran	480x271 piksel TFT LCD ekran
GPS	56 bağımsız kanallı entegre GPS
Batarya	Şarj edilebilir Li-ion batarya
Sıcaklık Aralığı	-10°C ile +50°C aralığında
Boyut	100x215x40 mm
Ağırlık	575 gr

3.3 WPT Geniş Bant Elektromanyetik Radyasyon Ölçüm Probu

SMP2 EMR ölçüm cihazıyla birlikte WPT geniş bant probu kullanılmıştır. Bu prob mobil iletişim frekanslarında ölçüm yapan özel bir probdur. Bu probun en

önemli özelliği sadece 2G, 3G ve 4G uplink ve downlink frekanslarındaki toplam elektromanyetik radyasyonu ölçerek cep telefonu kaynaklı elektromanyetik kirliliği belirlemesidir. WPT geniş bant probuna ait teknik özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Wavecontrol WPT geniş bant ölçüm probu

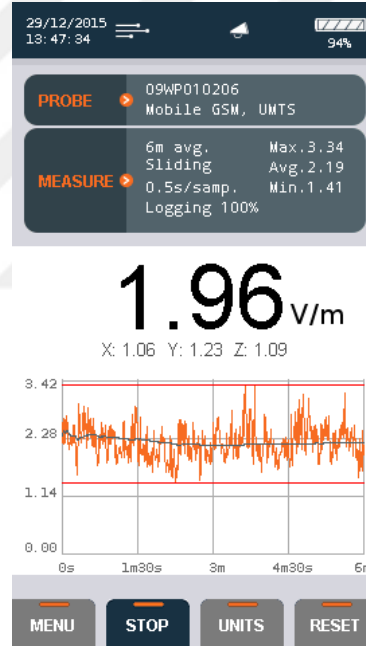
Teknik Özellikler	Açıklama
Frekans Bantları	700-900 MHz, 1800-1900 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz
Sensor Tipi	İzotropik, RMS
Ölçüm Aralığı	0.04-65 V/m
Dinamik Aralık	>64 dB
Hassasiyet	0.04 V/m
Çözünürlük	0.07 dB
Bantlar Arası Zayıflama	>20 dB (1100 MHz) >5 dB (2300 MHz)
Frekans Cevabı	± 3.3 dB
Lineerlik	$< \pm 0.4$ dB (0.2-50 V/m)
İzotropik Sapma	$< \pm 1.7$ dB
Kalibrasyon Periyodu	24 Ay
Kalibrasyon Akreditasyonu	ISO 17025 (ILAC)
Çalışma Sıcaklığı	-30°C ile +80°C aralığında
Boyut	28.5x10.5x10.5 mm
Ağırlık	140 gr

WPT mobil frekans geniş bant ölçüm probunun genel görünümü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Üç yönlü anteniyle her bir düzlemden gelen elektromanyetik dalgaları ve toplam alan şiddetini ölçme özelliğine sahip olan WPT probu uluslararası standartlara uygun ölçümler yapabilmektedir.



Şekil 3.2. WPT mobil frekans probu

SMP2 cihazıyla yapılan bir ölçümün sonucunda kaydedilen veriler Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3. SMP2 ekran görüntüsü örneği

Şekil 3.3'de SMP2 cihazının ölçüm sonunda aldığı ekran görüntüsü verilmiştir. Bu ekranda otomatik olarak cihaz tarafından tanınan ölçüm probu ve ölçüm özellikleriyle ilgili bilgiler yer almaktadır. Ölçüm süresi maksimum, minimum ve ortalama değerlerin yer aldığı görüntüde ölçüm süresince elde edilen değerlerin grafiksel gösterimi de yer almaktadır. Şekil 3.4'te ise Excel formatında kaydedilen verilerin bir örneği görülmektedir. Her bir düzlemde ve toplamda alınan ölçüm değerleri burada görülebilmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	SMP2 Exportation							
2	Software version	1.1.0.4						
3	SMP2 serial	15SN0134						
4	SMP2 firmware	1.00						
5	Probe serial	09WP010206						
6	Probe frequencies	950-1800-2100MHz						
7	Average interval	6m						
8	Average type	sliding						
9	Units	V/m						
10	Limit	None						
11	Last average	2,189						
12								
13	id	date	field	average	x	y	z	
14		1 29.12.2015 13:41:33,0	2,482	2,482	0,8493	1,311	1,922	
15		2 29.12.2015 13:41:33,5	1,936	2,209	1,118	1,031	1,154	
16		3 29.12.2015 13:41:34,0	2,598	2,339	1,763	1,225	1,447	
17		4 29.12.2015 13:41:34,5	2,412	2,357	1,436	0,8762	1,723	
18		5 29.12.2015 13:41:35,0	2,184	2,323	1,179	0,9212	1,586	
19		6 29.12.2015 13:41:35,5	2,543	2,359	1,568	1,065	1,682	
20		7 29.12.2015 13:41:36,0	2,661	2,403	1,562	1,17	1,793	
21		8 29.12.2015 13:41:36,5	2,567	2,423	1,496	0,9451	1,848	
22		9 29.12.2015 13:41:37,0	2,163	2,394	1,287	0,7468	1,561	

Şekil 3.4. SMP2 tarafından kaydedilen örnek ölçüm verileri

3.4 Spectran HF-60100 Spektrum Analizörü

Aaronia firmasına ait Spectran HF-60100 taşınabilir spektrum analizörü toplam bir EMR ölçümü yapmak yerine her bir frekans bandındaki elektrik alan değerini ayrı ayrı ölçmek için kullanılmıştır. 1 MHz-9.4 GHZ gibi oldukça geniş bir frekans aralığında spektrum analizi yapabilen cihaz oldukça hassas ölçüm sonuçları verebilmektedir.



Şekil 3.5. Spectran HF-60100 spektrum analizörü

Şekil 3.5’de genel görünümü verilmiş olan HF-60100 spektrum analizörü kendi ekranı üzerinden ölçüm yapabildiği gibi bilgisayar bağlantısıyla da yapılan ölçümleri kaydedebilmektedir. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Spectran HF-60100 Spektrum Analizörü Teknik Verileri

Teknik Özellikler	Açıklama
Alan Problemleri	Otomatik algılama ve tanıma
Frekans Aralığı	1 MHz-9.4 GHz
Spektrum Analizi	1 MHz-9.4 GHz
Maksimum RF giriş gücü	10 dbm
Elektrik Alan Birimleri	V/m, W/m ² , dBm
Manyetik Alan Birimleri	A/m,
Örnek Zamanı	En az 5ms
Bant Genişliği Çözünürlüğü	200 Hz-50 MHz
Demodülatörler	AM, FM, PM, GSM
Bellek Kapasitesi	64 Kb
Veri Aktarımı	USB 1.1 ve 2.0
Yazılım Güncelleme	USB bağlantısıyla
Ses	Var
Ekran	51x25 piksel LCD ekran
GPS	Yok
Batarya	Şarj edilebilir Li-ion batarya
Sıcaklık Aralığı	20 °C-25°C aralığında ideal
Boyut	260x86x23 mm
Ağırlık	420 gr

3.5 Ölçüm Yöntemi

Elektromanyetik alan ölçümleri yapılırken hem uluslararası kuruluşların önerdiği hem de ülkemizde bu alandaki denetim mekanizması olan Bilgi Teknolojileri Kurumu (BTK) tarafından belirlenen standartlar kullanılmıştır. Ülkemizde uygulanan standartlar 2001 yılında resmi gazetede yayınlanan ”10 KHz-

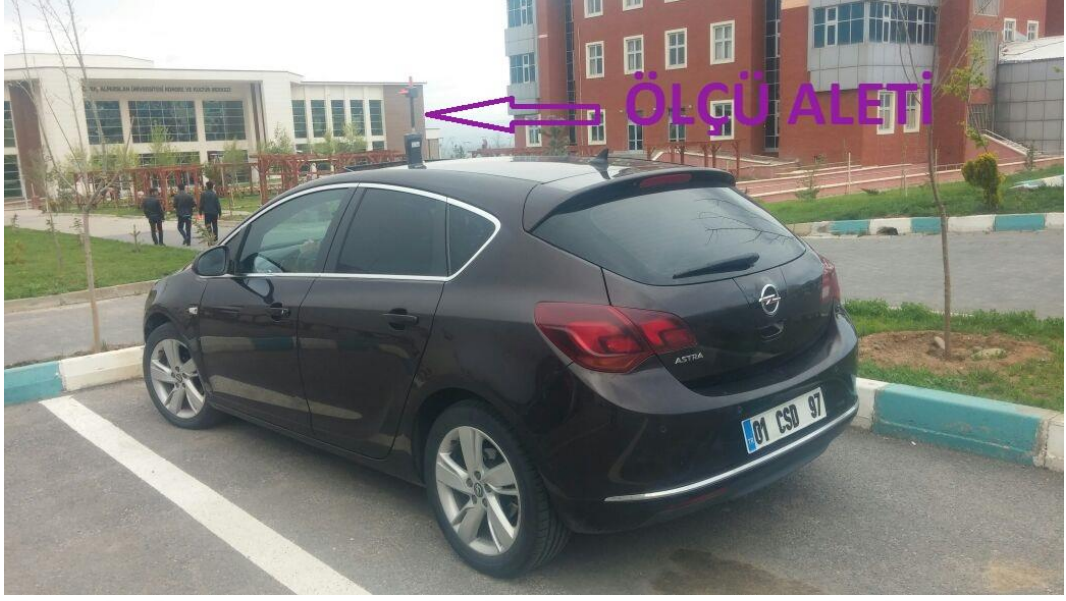
60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik” ile belirlenmiştir.

Sabit noktasal ölçümler yapılırken cihaz yerden 1.50 metre yüksekte tutularak genellikle 6 dakika boyunca yapılan ölçümlerin ortalama değeri kullanılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı saatlerin yoğun kullanım saatleri olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.6. Sabit noktasal ölçüm örneği

Dinamik ölçümler yapılırken 25 km/s sabit hızla giden aracın üstünde cihaz tamamen açıkta kalacak şekilde ölçüm sistemi kurulmuştur. Cihazımızda bulunan dahili GPS modülü sayesinde ölçüm sonuçlarıyla eş zamanlı olarak ölçüm yapılan koordinat bilgisi de kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında bölgenin elektromanyetik kirlilik haritası çıkarılmıştır.



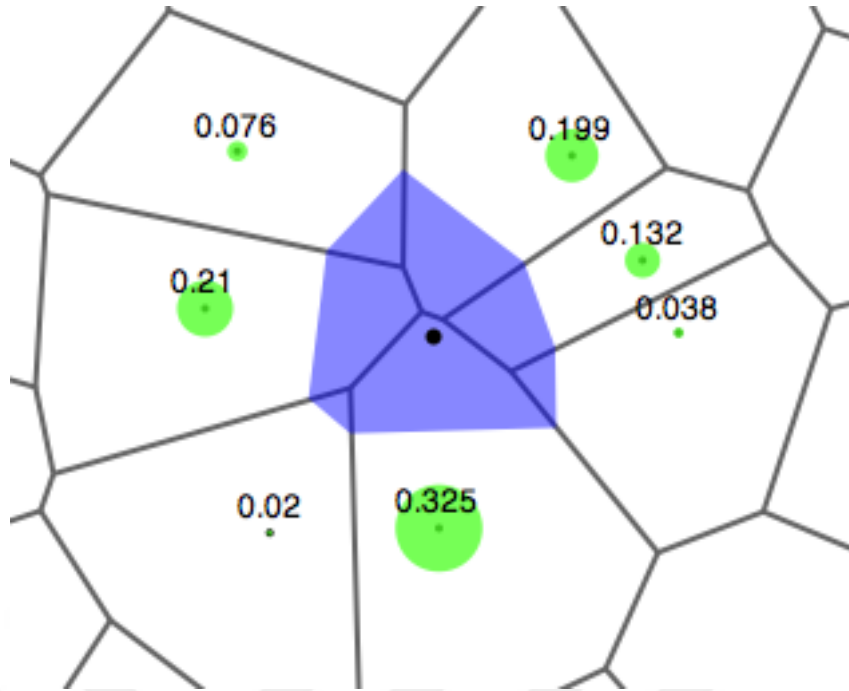
Şekil 3.7. Dinamik ölçüm örneği

3.6 Haritalandırma Teknikleri ve Doğal Komşuluk Enterpolasyon Yöntemi

Enterpolasyon yöntemleri haritacılığın bir gereği olarak ortaya çıkmıştır. Harita üzerinde bir verinin işlenmesi sırasında her noktada örnek almak ya da ölçüm yapmak neredeyse imkansızdır. Bu ihtiyaca binaen birçok enterpolasyon tekniği işlenecek verinin türüne göre en iyi sonucu verecek şekilde geliştirilmiştir.

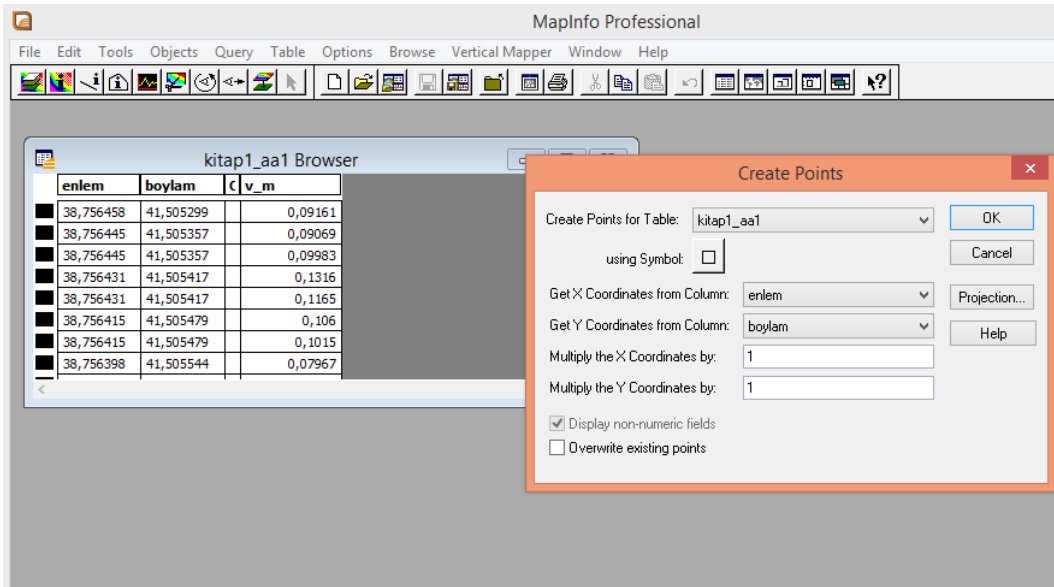
Elektromanyetik alan saha ölçümleri yapılırken konum koordinatlarının tespit edilmesi mümkün olduğundan ölçülen bu değerleri haritalandırmak, ölçümlerin eksik kaldığı noktaları harita üzerinde tahmini bir şekilde göstermek mümkündür. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde elektromanyetik alan verilerini haritalandırmak için en uygun enterpolasyon yönteminin Doğal Komşuluk Enterpolasyon yöntemi olduğu görülmüştür.

Doğal Komşuluk Enterpolasyon yöntemi 1981 yılında Sibson tarafından bulunmuştur. Hali hazırda mevcut olan Doğal Komşuluk Enterpolasyon yöntemi ile Üçgen Düzensiz Ağ metodunu birlikte kullanarak geliştirilen bu yöntem halen haritacılar tarafından aktif olarak kullanılan enterpolasyon yöntemlerinden biridir. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi örnekler arasında oluşturulan çokgenler her bir örneğin ağırlık katsayısına göre seçilen noktaya etki eder. Böylece ölçüm yapılmamış noktalarla ilgili bir çıkarım yapılabilir [112].



Şekil 3.8. Doğal Komşuluk Enterpolasyonu varsayım şeması

Elektromanyetik alan haritaları oluştururken ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri ve bu verilerin ölçüldüğü koordinatlardan oluşan GPS verilerinden yararlanılmıştır. Enterpolasyon haritaları oluşturulurken Map Info v9.5 program ve bu programın Vertical Mapper eklentisinden faydalanılmıştır. Şekil 3.9’de Map Info programının kullanıcı arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Map Info 9.5 kullanıcı arayüzü

Map Info programı yardımıyla öncelikle elde edilen koordinatlara göre güzergah hattı noktalar halinde belirlenir. Daha sonra bu noktalarda ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti değerleri dahil edilir. Vertical Mapper eklentisi yardımıyla enterpolasyon yöntemlerinden biri tercih edilerek bölgenin kirlilik haritası elde edilmiş olur. Haritalandırma işlemleri için Doğal Komşuluk Enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen elektromanyetik uyumluluk haritalarında mavi noktalar düşük, kırmızı noktalar yüksek elektrik alan şiddeti değerlerini göstermektedir. Mavi renkten kırmızıya doğru artan elektrik alan şiddeti değerleri oluşturulan haritaların yanında görülebilmektedir.



4. BULGULAR

4.1 Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsünde Genel Durum

Kampüs içerisinde yapılan ölçümlerde tüm kampüs alanını kapsayacak şekilde belirlenen 11 noktada ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümler periyodik olarak tekrar edilerek elektromanyetik kirlilikte meydana gelen değişim incelenmiştir.

Çizelge 4.1. Ölçüm noktalarının açıklaması

Ölçüm Noktası Numarası	Numaraların Yer Karşılığı
1	Dekanlık Binası
2	MAE Derslikleri
3	HBV Derslikleri
4	Personel Lojmanları
5	Anaokulu ve İlkokul
6	Spor Salonu
7	Merkezi Kafeterya
8	Yemekhane
9	Kütüphane
10	Üniversite Meydanı
11	Rektörlük

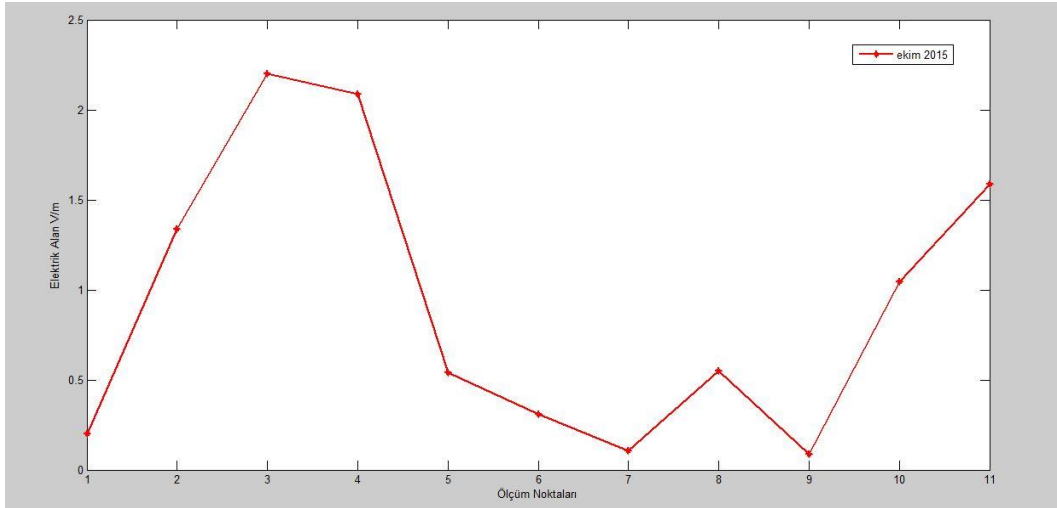
11 ölçüm noktasının kampüs genelindeki görünümü Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Çizelge 5.1'de belirtilen noktaların üniversite kampüsü içerisindeki hangi binalar olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4.1. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde belirlenen ölçüm noktalarının genel görünümü

Belirlenen noktalardan yapılan ölçümlerin sonuçları aylara göre aşağıda verilmiştir. Ölçümler yapılırken ölçüm cihazı yerden yaklaşık 150 cm yukarıda sabit bir şekilde tutulmuş ve BTK standartlarına uygun olarak 6 dakikalık ölçümlerin ortalaması alınarak ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

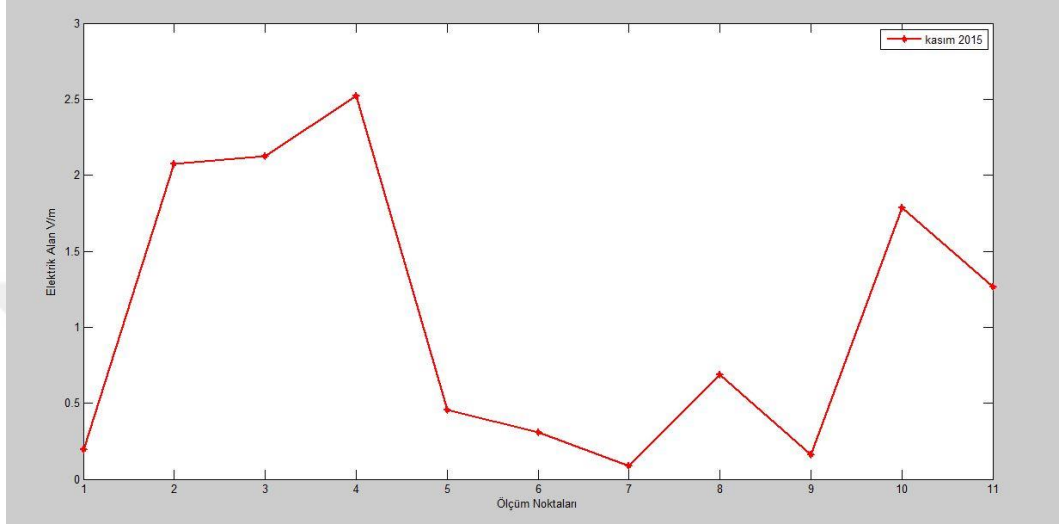
Ölçümler SMP2 cihazı ve WPT mobil frekans probuyla yapılmıştır. WPT probu özelliği gereği sadece 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz ve 2600 MHz frekans bantlarındaki toplam elektrik alan şiddetini ölçmektedir.



Şekil 4.2. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2015 yılı Ekim ayı ölçüm sonuçları

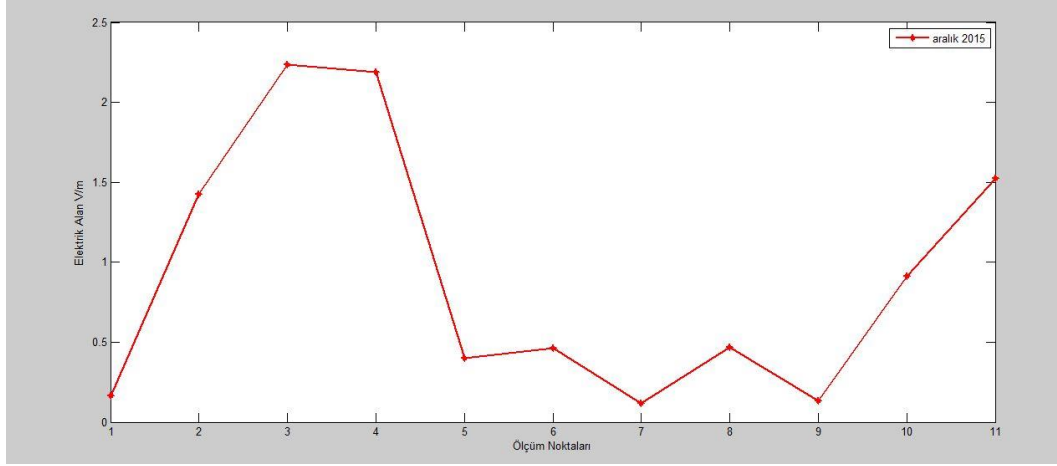
2015 yılı Ekim ayında yapılan ölçümlerde dekanlık binası önünde 0.201 V/m, Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde 1.338 V/m, Hacı Bektaşî Veli derslikleri önünde 2.201 V/m, üniversite lojmanları çevresinde 2.088 V/m, üniversite kampüsü

içerisindeki ilkokul ve anaokulu bahçesinde 0.5383 V/m, üniversite spor salonu önünde 0.3107 V/m, üniversite merkezi kafeteryasında 0.1073 V/m, üniversite yemekhanesinde 0.5508 V/m, üniversite kütüphanesinin önünde 0.08653 V/m, üniversite girişindeki Aliya İzzetbegoviç Meydanında 1.044 V/m, üniversite rektörlüğünde 1.589 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



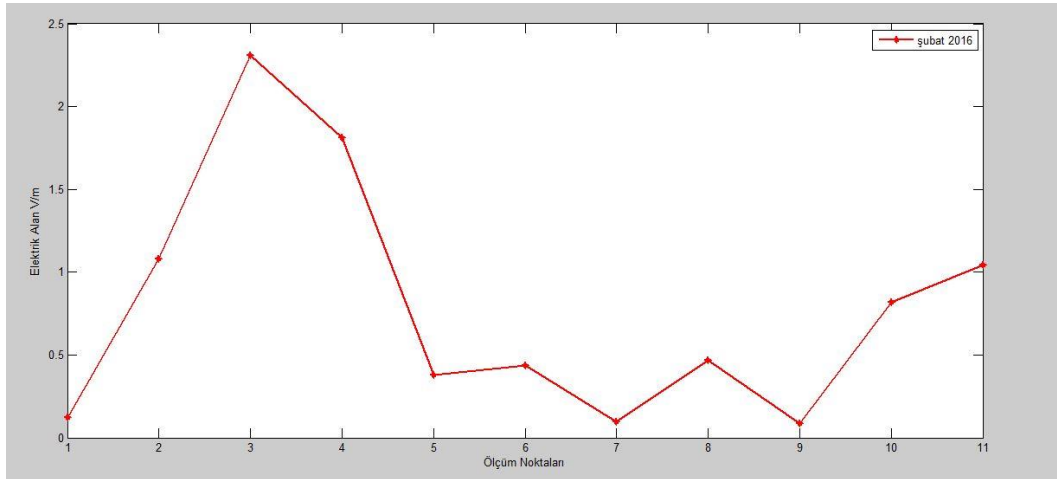
Şekil 4.3. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2015 yılı Kasım ayı ölçüm sonuçları

2015 yılı Kasım ayında yapılan ölçümlerde dekanlık binası önünde 0.1955 V/m, Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde 2.075 V/m, Hacı Bektaş Veli derslikleri önünde 2.124 V/m, üniversite lojmanları çevresinde 2.521 V/m, üniversite kampüsü içerisindeki ilkokul ve anaokulu bahçesinde 0.4561 V/m, üniversite spor salonu önünde 0.3083 V/m, üniversite merkezi kafeteryasında 0.08863 V/m, üniversite yemekhanesinde 0.6895 V/m, üniversite kütüphanesinin önünde 0.1629 V/m, üniversite girişindeki Aliya İzzetbegoviç Meydanında 1.787 V/m, üniversite rektörlüğünde 1.266 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



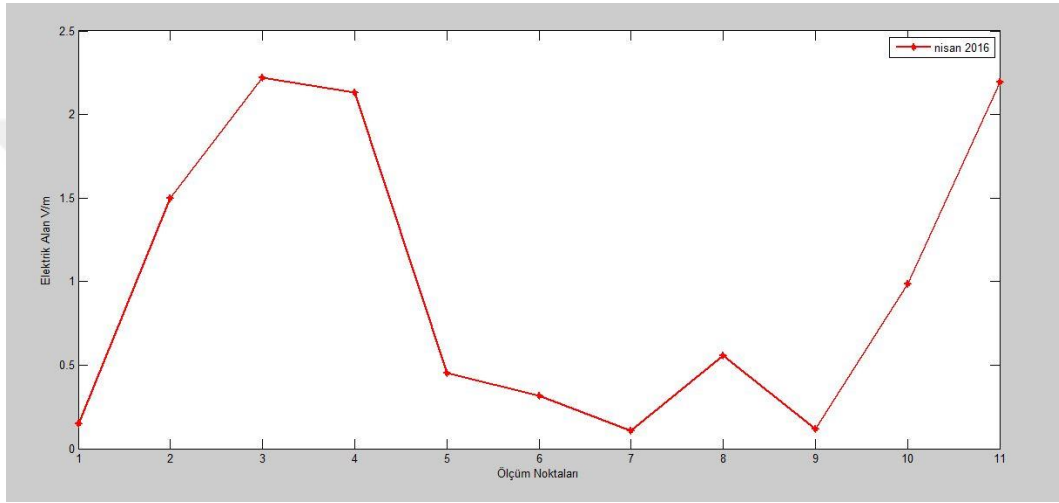
Şekil 4.4. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2015 yılı Aralık ayı ölçüm sonuçları

2015 yılı Aralık ayında yapılan ölçümlerde dekanlık binası önünde 0.167 V/m, Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde 1.424 V/m, Hacı Bektaş Veli derslikleri önünde 2.237 V/m, üniversite lojmanları çevresinde 2.189 V/m, üniversite kampüsü içerisindeki ilkökul ve anaokulu bahçesinde 0.4021 V/m, üniversite spor salonu önünde 0.4639 V/m, üniversite merkezi kafeteryasında 0.1163 V/m, üniversite yemekhanesinde 0.4692 V/m, üniversite kütüphanesinin önünde 0.1332 V/m, üniversite girişindeki Aliya İzzetbegoviç Meydanında 0.9111 V/m, üniversite rektörlüğünde 1.524 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



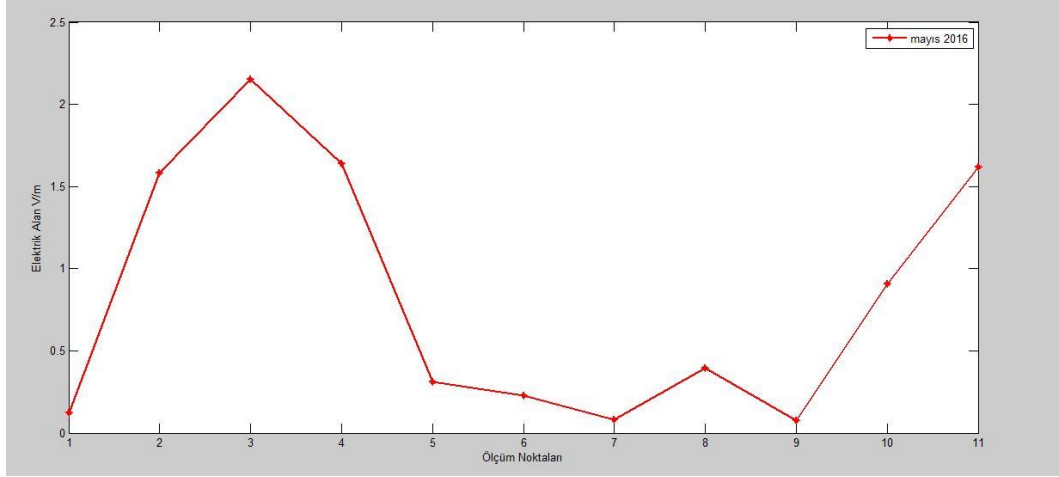
Şekil 4.5. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı Şubat ayı ölçüm sonuçları

2016 yılı Şubat ayında yapılan ölçümlerde dekanlık binası önünde 0.1254 V/m, Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde 1.079 V/m, Hacı Bektaş Veli derslikleri önünde 2.311 V/m, üniversite lojmanları çevresinde 1.81 V/m, üniversite kampüsü içerisindeki ilkokul ve anaokulu bahçesinde 0.3785 V/m, üniversite spor salonu önünde 0.4354 V/m, üniversite merkezi kafeteryasında 0.09437 V/m, üniversite yemekhanesinde 0.4693 V/m, üniversite kütüphanesinin önünde 0.08436 V/m, üniversite girişindeki Aliya İzzetbegoviç Meydanında 0.8208 V/m, üniversite rektörlüğünde 1.045 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



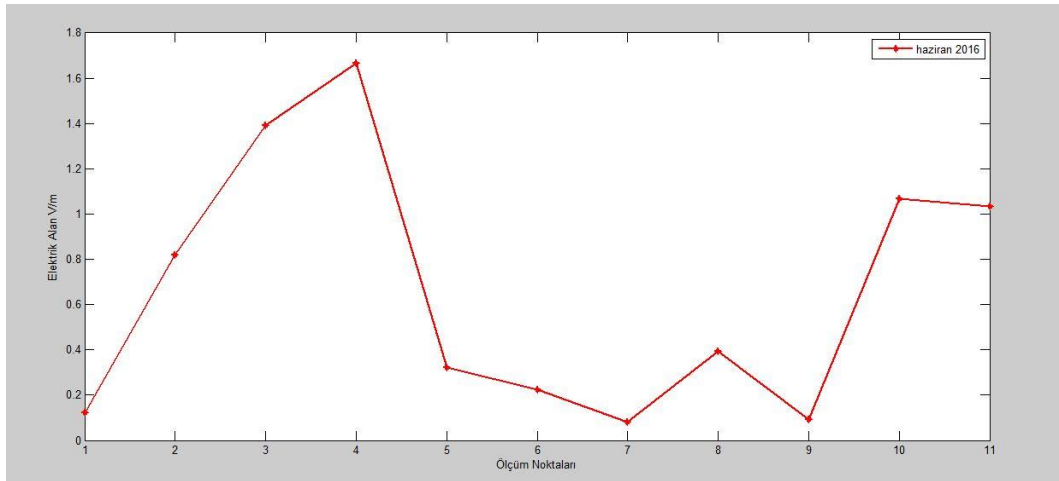
Şekil 4.6. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı Nisan ayı ölçüm sonuçları

2016 yılı Nisan ayında yapılan ölçümlerde dekanlık binası önünde 0.1494 V/m, Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde 1.496 V/m, Hacı Bektaş Veli derslikleri önünde 2.221 V/m, üniversite lojmanları çevresinde 2.13 V/m, üniversite kampüsü içerisindeki ilkokul ve anaokulu bahçesinde 0.4543 V/m, üniversite spor salonu önünde 0.317 V/m, üniversite merkezi kafeteryasında 0.1071 V/m, üniversite yemekhanesinde 0.5565 V/m, üniversite kütüphanesinin önünde 0.1163 V/m, üniversite girişindeki Aliya İzzetbegoviç Meydanında 0.9871 V/m, üniversite rektörlüğünde 2.193 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



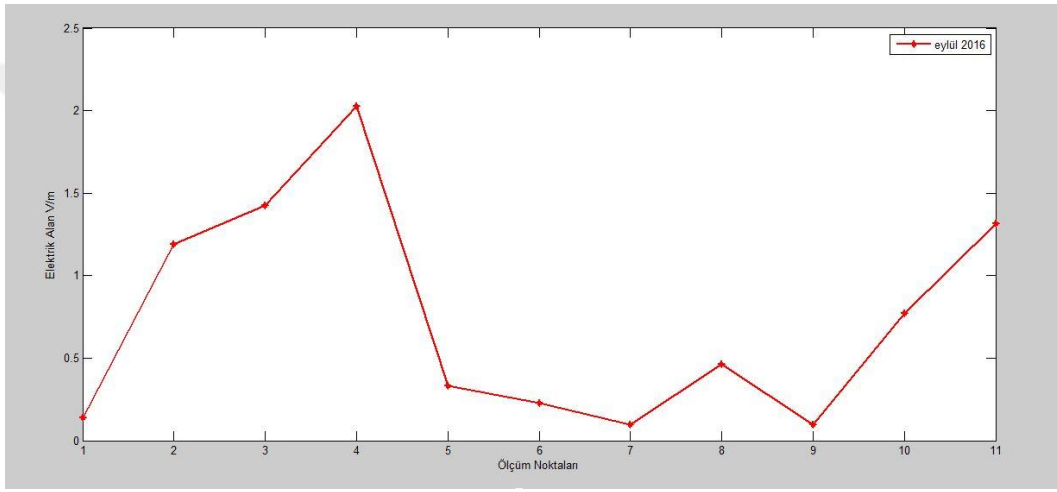
Şekil 4.7. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı Mayıs ayı ölçüm sonuçları

2016 yılı Mayıs ayında yapılan ölçümlerde dekanlık binası önünde 0.1217 V/m, Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde 1.582 V/m, Hacı Bektaş Veli derslikleri önünde 2.154 V/m, üniversite lojmanları çevresinde 1.64 V/m, üniversite kampüsü içerisindeki ilköğretim ve anaokulu bahçesinde 0.3135 V/m, üniversite spor salonu önünde 0.2264 V/m, üniversite merkezi kafeteryasında 0.07858 V/m, üniversite yemekhanesinde 0.3923 V/m, üniversite kütüphanesinin önünde 0.07826 V/m, üniversite girişindeki Aliya İzzetbegoviç Meydanında 0.9073 V/m, üniversite rektörlüğünde 1.618 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



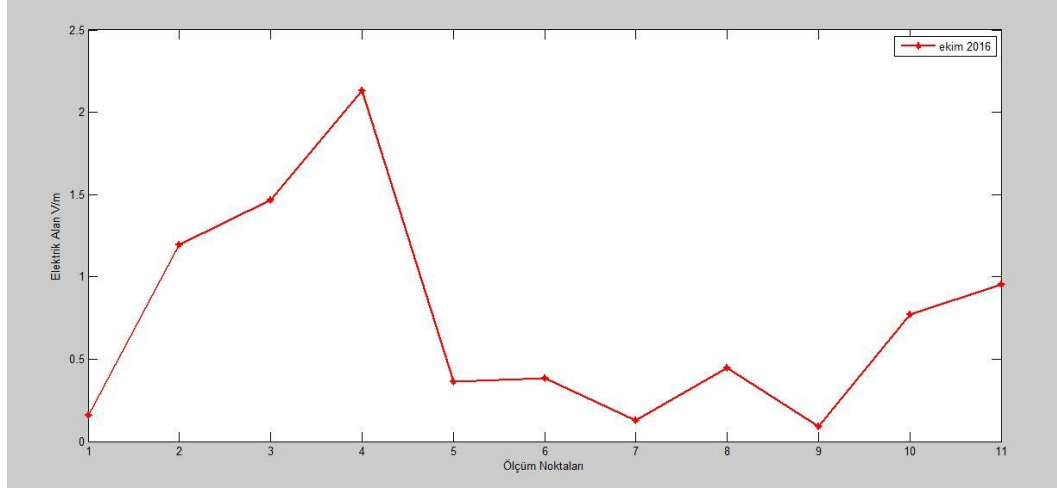
Şekil 4.8. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı Haziran ayı ölçüm sonuçları

2016 yılı Haziran ayında yapılan ölçümlerde dekanlık binası önünde 0.1214 V/m, Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde 0.8208 V/m, Hacı Bektaş Veli derslikleri önünde 1.391 V/m, üniversite lojmanları çevresinde 1.665 V/m, üniversite kampüsü içerisindeki ilkököl ve anaokulu bahçesinde 0.3213 V/m, üniversite spor salonu önünde 0.2239 V/m, üniversite merkezi kafeteryasında 0.08102 V/m, üniversite yemekhanesinde 0.3939 V/m, üniversite kütüphanesinin önünde 0.09075 V/m, üniversite girişindeki Aliya İzzetbegoviç Meydanında 1.069 V/m, üniversite rektörlüğünde 1.034 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.9. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı Eylül ayı ölçüm sonuçları

2016 yılı Eylül ayında yapılan ölçümlerde dekanlık binası önünde 0.1406 V/m, Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde 1.188 V/m, Hacı Bektaş Veli derslikleri önünde 1.427 V/m, üniversite lojmanları çevresinde 2.028 V/m, üniversite kampüsü içerisindeki ilkököl ve anaokulu bahçesinde 0.3346 V/m, üniversite spor salonu önünde 0.229 V/m, üniversite merkezi kafeteryasında 0.0984 V/m, üniversite yemekhanesinde 0.4627 V/m, üniversite kütüphanesinin önünde 0.09849 V/m, üniversite girişindeki Aliya İzzetbegoviç Meydanında 0.7689 V/m, üniversite rektörlüğünde 1.315 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.10. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde 2016 yılı Ekim ayı ölçüm sonuçları

2016 yılı Ekim ayında yapılan ölçümlerde dekanlık binası önünde 0.1598 V/m, Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde 1.197 V/m, Hacı Bektaş Veli derslikleri önünde 1.469 V/m, üniversite lojmanları çevresinde 2.13 V/m, üniversite kampüsü içerisindeki ilkokul ve anaokulu bahçesinde 0.3643 V/m, üniversite spor salonu önünde 0.3849 V/m, üniversite merkezi kafeteryasında 0.1283 V/m, üniversite yemekhanesinde 0.4452 V/m, üniversite kütüphanesinin önünde 0.09013 V/m, üniversite girişindeki Aliya İzzetbegoviç Meydanında 0.7716 V/m, üniversite rektörlüğünde 0.9528 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.

2015 yılı Kasım ayında üniversite lojmanlarının bulunduğu bölgede ölçülen 2.521 V/m elektrik alan şiddeti yapılan bir senelik ölçümler içinde ölçülen en yüksek değer iken, 2016 yılı Mayıs ayında merkezi kafeteryada ölçülen 78.26 mV/m elektrik alan şiddeti değeri tüm ölçümler içinde ölçülen en düşük değer olmuştur. Toplam olarak en yüksek değerlerin ölçüldüğü ay 2015 yılının kasım ayı olurken, toplam elektrik alan şiddeti ölçümlerinin en düşük olduğu ay 2016 yılının haziran ayı olmuştur. Tüm ölçümlerin genelinde en yüksek ölçüm değerinin alındığı bölgeden en düşük ölçümlerin alındığı bölgeye göre sıralama: üniversite lojmanları, Hacı Bektaş Veli derslikleri, rektörlük, Mehmet Akif Ersoy Derslikleri, Aliya İzzetbegoviç meydanı, üniversite yemekhanesi, kampüs içerisindeki ilkokul ve anasınıfı, üniversite spor salonu, dekanlık, üniversite kütüphanesi, merkezi kafeterya şeklinde olmaktadır. Bir senelik ölçümlerin genel ortalaması olarak ise dekanlık binasında 153.5 mV/m, Mehmet Akif Ersoy dersliklerinde 1.35 V/m, Hacı

Bektaş Veli dersliklerinde 1.95 V/m, üniversite lojmanlarında 2.02 V/m, üniversite içerisindeki ilkököl ve anaokulunda 395.9 mV/m, üniversite spor salonunda 322.1 mV/m, üniversite merkezi kafeteryasında 100 mV/m, üniversite yemekhanesinde 492.1 mV/m, üniversite kütüphanesinde 104.5 mV/m, Aliya İzzetbegoviç meydanında 1 V/m, üniversite rektörlüğünde 1.39 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.

Çizelge 4.2. Üniversite kampüsü içerisinde yapılan ölçümlerde elde edilen maksimum ve minimum anlık elektrik alan şiddeti değerleri

Ölçüm Noktası	Ölçülen Maksimum Anlık Elektrik Alan Şiddeti	Ölçülen Minimum Anlık Elektrik Alan Şiddeti
Dekanlık	0.31 V/m	0.08 V/m
MAE Derslikleri	2.98 V/m	0.64 V/m
HBV Derslikleri	3.84 V/m	0.96 V/m
Lojmanlar	3.43 V/m	0.99 V/m
İlkökököl	0.69 V/m	0.2 V/m
Spor Salonu	0.6 V/m	0.14 V/m
Kafeterya	0.19 V/m	0.06 V/m
Yemekhane	0.93 V/m	0.3 V/m
Kütüphane	0.57 V/m	0.06 V/m
Meydan	2.48 V/m	0.52 V/m
Rektörlük	3.13 V/m	0.82 V/m

Çizelge 5.2’de Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü içerisinde ölçüm yapılan noktalardaki anlık ölçüm sonuçlarının maksimum ve minimum değerleri verilmiştir. Anlık ölçüm sonuçlarına göre en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 3.84 V/m ile Hacı Bektaş Veli dersliklerinde elde edilmiştir. Minimum elektrik alan şiddeti olarak ise 60mV/m ile merkezi kafeterya ve kütüphane binasında elde edilmiştir.

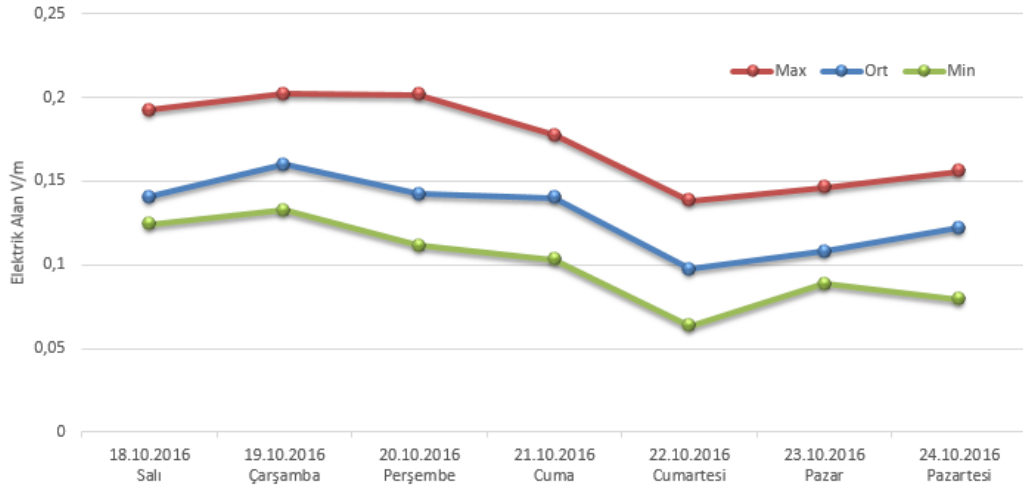
Aşağıdaki çizelgelerde birbirini takip eden yedi gün yani bir hafta boyunca Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü içerisinde belirlenen 11 noktada yapılan

ölçümlerin sonuçları yer almaktadır. Tablolarda maksimum, minimum ve ortalama elektrik alan şiddeti değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 4.3. Üniversite kampüsü içerisinde dekanlık binası için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	0.1922	0.1243	0.1406
19.10.2016	0.2022	0.1327	0.1598
20.10.2016	0.2017	0.1115	0.142
21.10.2016	0.1774	0.1029	0.1402
22.10.2016	0.1381	0.0634	0.09725
23.10.2016	0.1463	0.08865	0.1077
24.10.2016	0.156	0.07952	0.122

Dekanlık Binası Haftalık Ölçüm Sonuçları



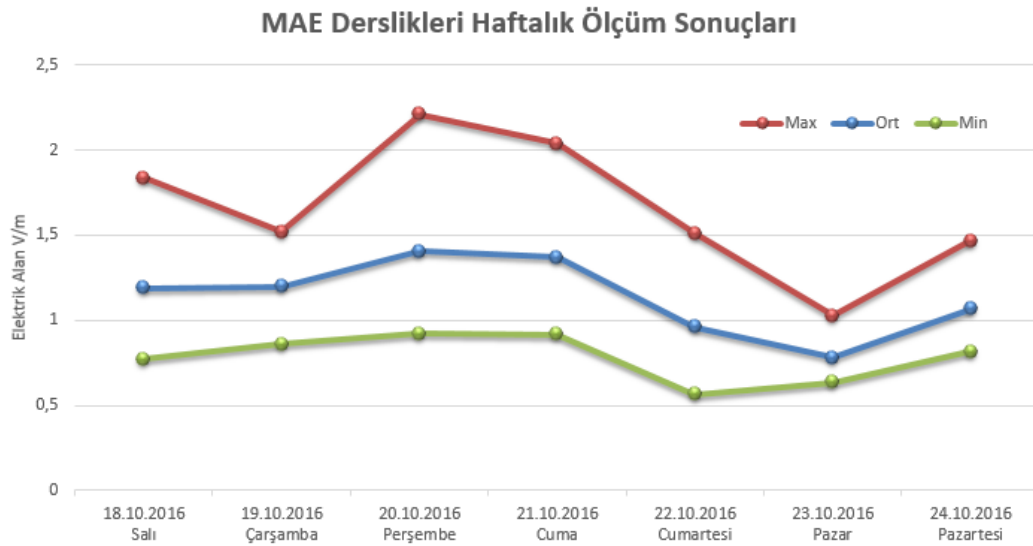
Şekil 4.11. Üniversite kampüsü dekanlık binası için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi dekanlık binasında 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.11 ve Çizelge 5.3'te verilmiştir. Genel itibariyle bu bölgede elektromanyetik kirlilik hafta sonuna doğru azalırken en düşük değerlerin alındığı

gün Cumartesi olmuştur. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise Çarşamba günü elde edilmiştir. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 202.2 mV/m ile Salı günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 97.25 mV/m ile Cumartesi günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.4. Üniversite kampüsü içerisinde Mehmet Akif Ersoy derslikleri için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	1.834	0.7702	1.188
19.10.2016	1.518	0.8584	1.197
20.10.2016	2.211	0.9192	1.404
21.10.2016	2.036	0.9163	1.371
22.10.2016	1.51	0.5664	0.9603
23.10.2016	1.027	0.6365	0.7787
24.10.2016	1.464	0.816	1.065

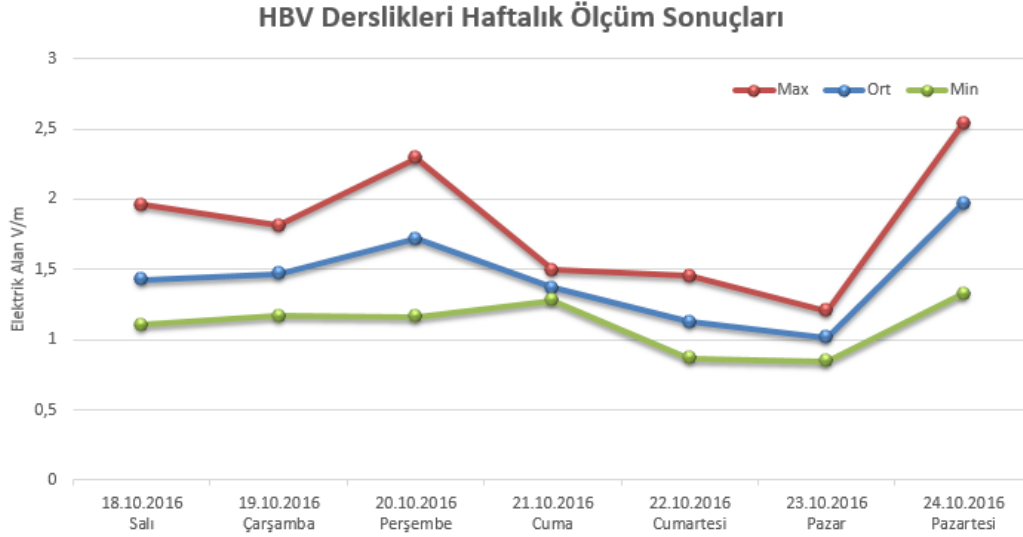


Şekil 4.12. Üniversite kampüsü MAE derslikleri için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi MAE dersliklerinde 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.12 ve Çizelge 5.4’te verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama elektrik alan şiddeti değeri Pazar günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri ise Cumartesi günü alınmıştır. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise Perşembe günü elde edilmiştir. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 2.21 V/m ile Perşembe günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 566.4 mV/m ile Cumartesi günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.5. Üniversite kampüsü içerisinde Hacı Bektaşî Veli derslikleri için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	1.962	1.103	1.427
19.10.2016	1.811	1.167	1.469
20.10.2016	2.292	1.165	1.715
21.10.2016	1.494	1.278	1.37
22.10.2016	1.451	0.8689	1.125
23.10.2016	1.203	0.8478	1.017
24.10.2016	2.539	1.328	1.972



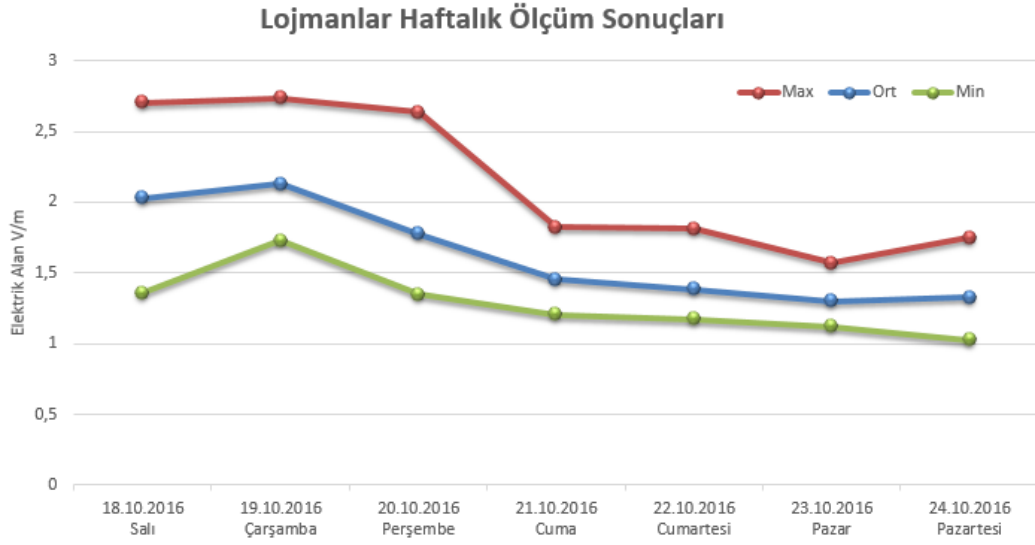
Şekil 4.13. Üniversite kampüsü HBV derslikleri için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi HBV dersliklerinde 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.13 ve Çizelge 5.5'te verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama elektrik alan şiddeti değeri Pazar günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri de Pazar günü alınmıştır. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise Pazartesi günü elde edilmiştir. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 2.54 V/m ile Pazartesi günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 847.8 mV/m ile Pazar günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.6. Üniversite kampüsü içerisinde lojmanlar için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	2.705	1.357	2.028
19.10.2016	2.737	1.725	2.13
20.10.2016	2.633	1.345	1.773
21.10.2016	1.824	1.206	1.453
22.10.2016	1.812	1.173	1.386
23.10.2016	1.571	1.112	1.301

24.10.2016	1.751	1.026	1.329
------------	-------	-------	-------



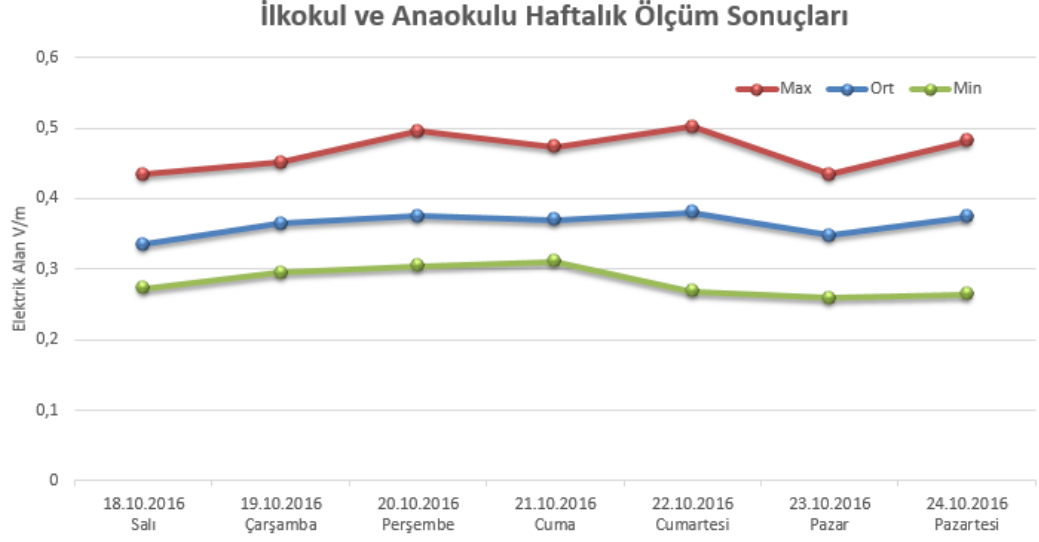
Şekil 4.14. Üniversite kampüsü lojmanlar için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi lojmanlarında 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.14 ve Çizelge 5.6’te verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama elektrik alan şiddeti değeri Pazar günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri ise Pazartesi günü alınmıştır. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise Çarşamba günü elde edilmiştir. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 2.74 V/m ile Çarşamba günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 1.03 V/m ile Pazartesi günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.7. Üniversite kampüsü içerisinde ilkokul için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	0.4347	0.2725	0.3346
19.10.2016	0.4513	0.2948	0.3643
20.10.2016	0.4958	0.3042	0.3752
21.10.2016	0.4731	0.3108	0.3702
22.10.2016	0.5019	0.2688	0.3802

23.10.2016	0.4347	0.2588	0.3474
24.10.2016	0.4818	0.2638	0.3745



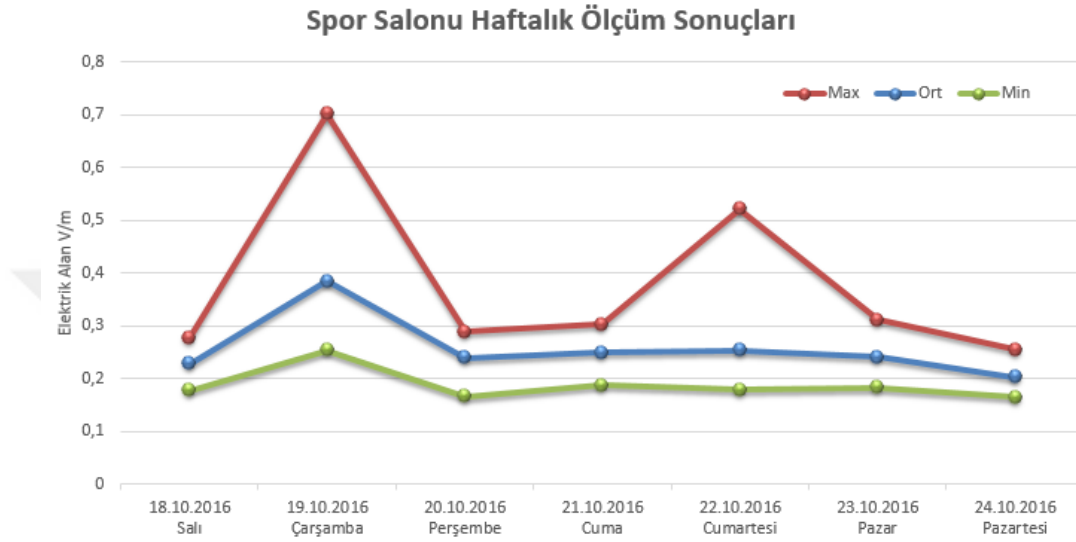
Şekil 4.15. Üniversite kampüsü ilkokul için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi ilkokulunda 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.15 ve Çizelge 5.7’de verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama elektrik alan şiddeti değeri Salı günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri ise Pazar günü alınmıştır. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise Cumartesi günü elde edilmiştir. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 501.9 mV/m ile Cumartesi günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 258.8 mV/m ile Pazar günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.8. Üniversite kampüsü içerisinde spor salonu için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	0.2782	0.1782	0.229
19.10.2016	0.7016	0.2544	0.3849
20.10.2016	0.2895	0.1665	0.2395

21.10.2016	0.3028	0.1873	0.2494
22.10.2016	0.5212	0.1796	0.2542
23.10.2016	0.3119	0.1831	0.2406
24.10.2016	0.2547	0.1652	0.2029



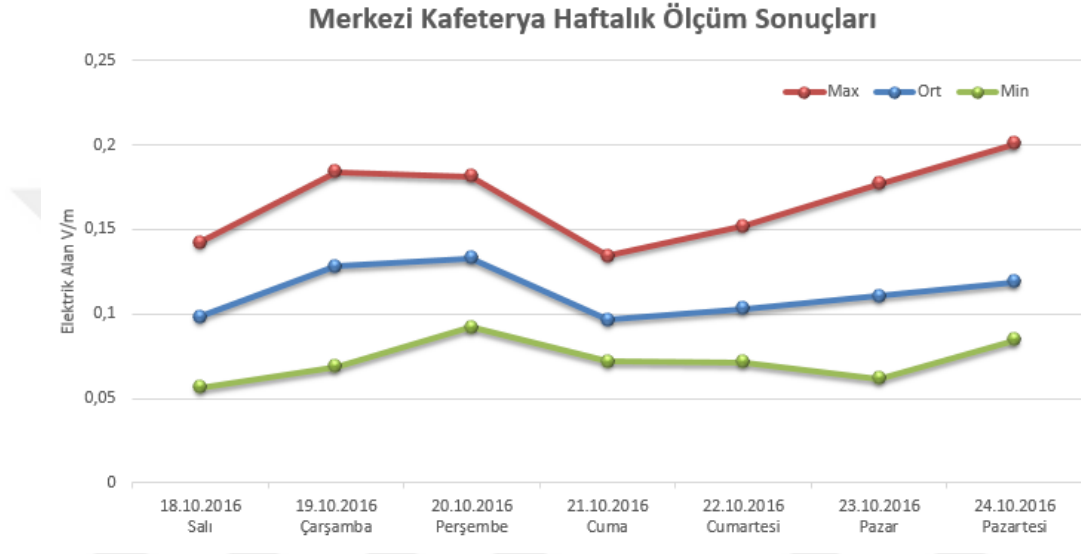
Şekil 4.16. Üniversite kampüsü spor salonu için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi spor salonunda 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.16 ve Çizelge 5.8’de verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama elektrik alan şiddeti değeri Pazartesi günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri de Pazartesi günü alınmıştır. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 521.2 mV/m ile Çarşamba günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 165.2 mV/m ile Pazartesi günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.9. Üniversite kampüsü içerisinde merkezi kafeterya için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	0.1424	0.05641	0.0984
19.10.2016	0.1841	0.06877	0.1283

20.10.2016	0.1814	0.09217	0.1331
21.10.2016	0.1343	0.07174	0.09648
22.10.2016	0.1519	0.07126	0.103
23.10.2016	0.1771	0.06184	0.1107
24.10.2016	0.2006	0.08473	0.119



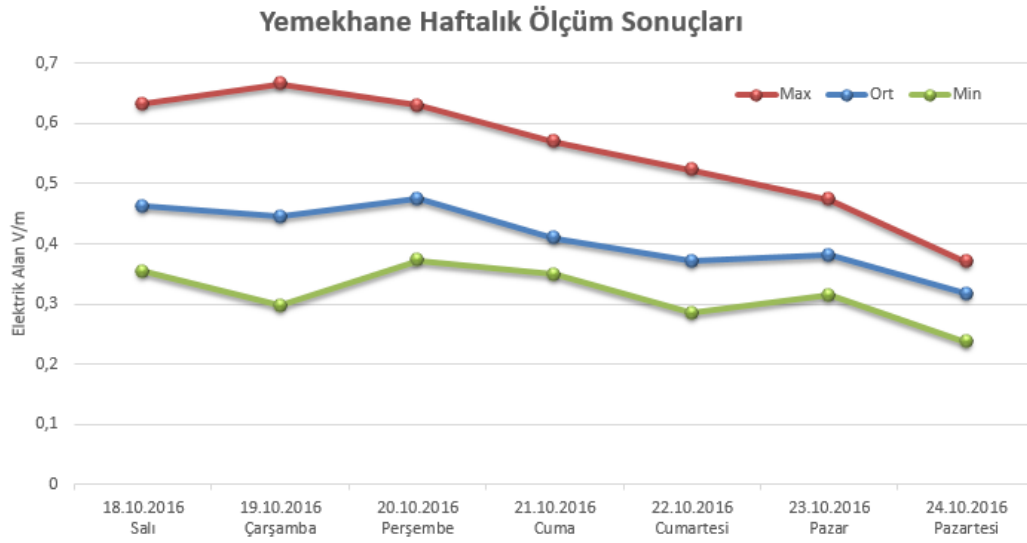
Şekil 4.17. Üniversite kampüsü kafeterya için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi kafeteryasında 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.17 ve Çizelge 5.9’de verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama elektrik alan şiddeti değeri Cuma günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri ise Salı günü alınmıştır. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 200.6 mV/m ile Çarşamba günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 56.4 mV/m ile Pazartesi günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.10. Üniversite kampüsü içerisinde yemekhane için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	0.6317	0.3543	0.4627

19.10.2016	0.6652	0.2968	0.4452
20.10.2016	0.6302	0.3726	0.4746
21.10.2016	0.569	0.3484	0.4096
22.10.2016	0.523	0.2852	0.3711
23.10.2016	0.4729	0.3143	0.3811
24.10.2016	0.3698	0.2369	0.3164

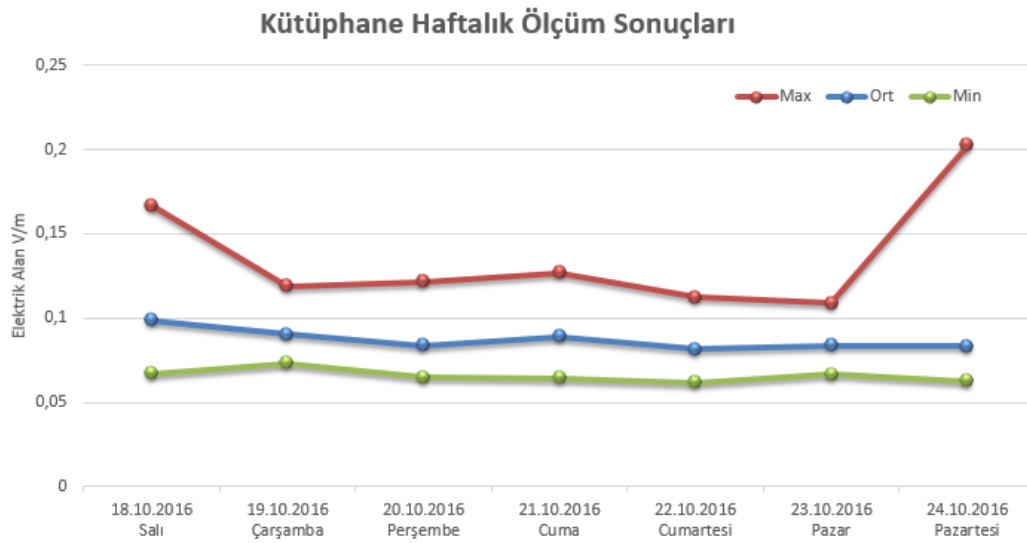


Şekil 4.18. Üniversite kampüsü yemekhane için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi yemekhanesinde 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.18 ve Çizelge 5.10’de verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama elektrik alan şiddeti değeri Pazartesi günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri de Pazartesi günü alınmıştır. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise Perşembe günü elde edilmiştir. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 665.2 mV/m ile Çarşamba günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 236.9 mV/m ile Pazartesi günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.11. Üniversite kampüsü içerisinde kütüphane için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	0.167	0.06705	0.09849
19.10.2016	0.119	0.07295	0.09013
20.10.2016	0.1214	0.0646	0.08389
21.10.2016	0.1269	0.06437	0.08888
22.10.2016	0.1124	0.06165	0.08162
23.10.2016	0.1087	0.06672	0.0837
24.10.2016	0.2025	0.06266	0.8322



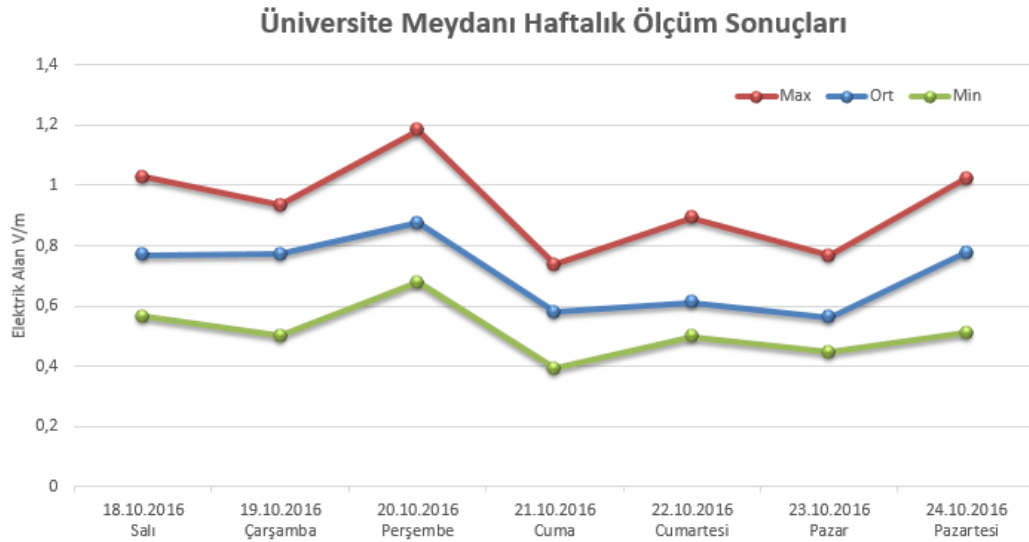
Şekil 4.19. Üniversite kampüsü kütüphane için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi kütüphanede 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.19 ve Çizelge 5.11’de verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama elektrik alan şiddeti değeri Cumartesi günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri de Cumartesi günü alınmıştır. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise Pazartesi günü elde edilmiştir. Hafta genelinde ölçülen en yüksek

anlık elektrik alan şiddeti değeri 202.5 mV/m ile Pazartesi günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 61.6 mV/m ile Cumartesi günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.12. Üniversite kampüsü içerisinde meydan için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	1.027	0.5638	0.7689
19.10.2016	0.9353	0.4997	0.7716
20.10.2016	1.184	0.678	0.8759
21.10.2016	0.737	0.3929	0.5798
22.10.2016	0.8925	0.498	0.6118
23.10.2016	0.7676	0.4459	0.562
24.10.2016	1.024	0.5096	0.7765



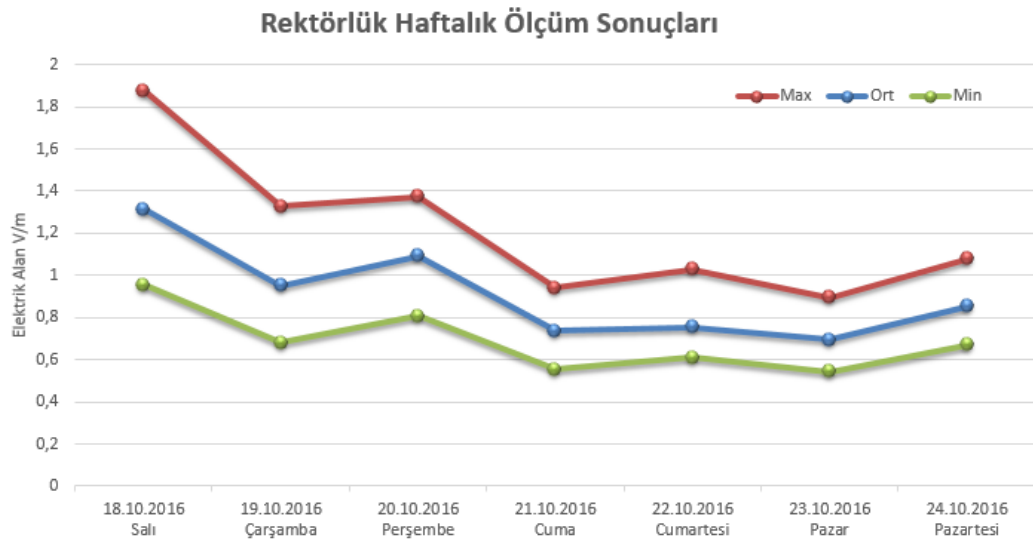
Şekil 4.20. Üniversite kampüsü meydanı için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi meydanında 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.20 ve Çizelge 5.12’de verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama elektrik alan şiddeti değeri Pazar günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri

ise Cuma günü alınmıştır. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise Perşembe günü elde edilmiştir. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 1.18 V/m ile Perşembe günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 445.9 mV/m ile Cuma günü ölçülmüştür.

Çizelge 4.13. Üniversite kampüsü içerisinde rektörlük için bir haftalık ölçüm değerleri

Tarih	Maksimum Elektrik Alan (V/m)	Minimum Elektrik Alan (V/m)	Ortalama Elektrik Alan (V/m)
18.10.2016	1.878	0.9544	1.315
19.10.2016	1.328	0.6786	0.9528
20.10.2016	1.372	0.8067	1.091
21.10.2016	0.9392	0.5549	0.7367
22.10.2016	1.03	0.6083	0.7559
23.10.2016	0.8946	0.5432	0.6929
24.10.2016	1.078	0.6699	0.8532



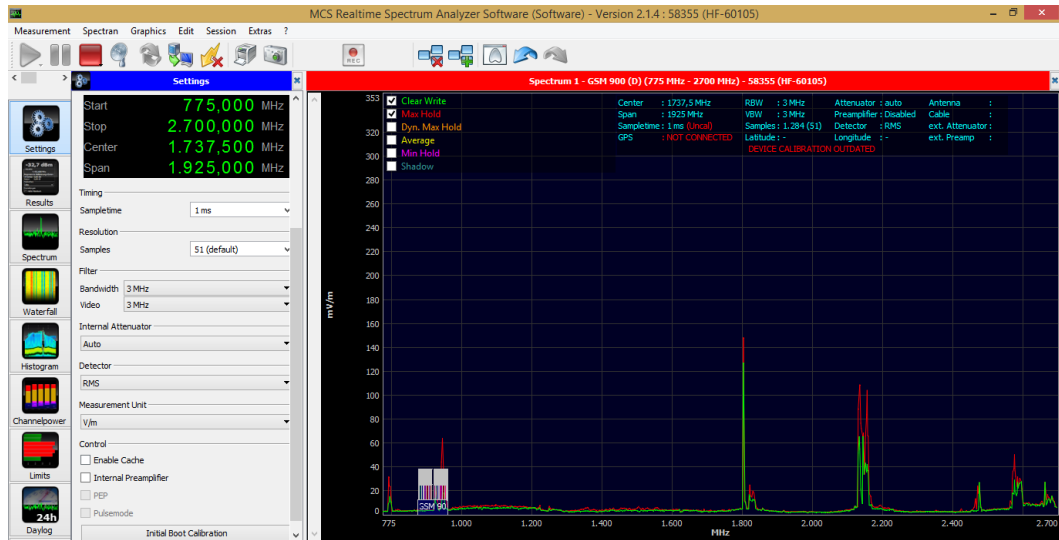
Şekil 4.21. Üniversite kampüsü rektörlük için bir haftalık ölçüm grafiği

Muş Alparslan Üniversitesi rektörlüğünde 2016 yılı ekim ayında yapılan ölçümler Şekil 4.21 ve Çizelge 4.13'te verilmiştir. Bu bölgede en düşük ortalama

elektrik alan şiddeti değeri Pazar günü, en düşük anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri de Pazar günü alınmıştır. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise Salı günü elde edilmiştir. Hafta genelinde ölçülen en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değeri 1.88 V/m ile Salı günü ölçülürken en düşük anlık elektrik alan şiddeti değeri 543.2 mV/m ile Pazar günü ölçülmüştür.

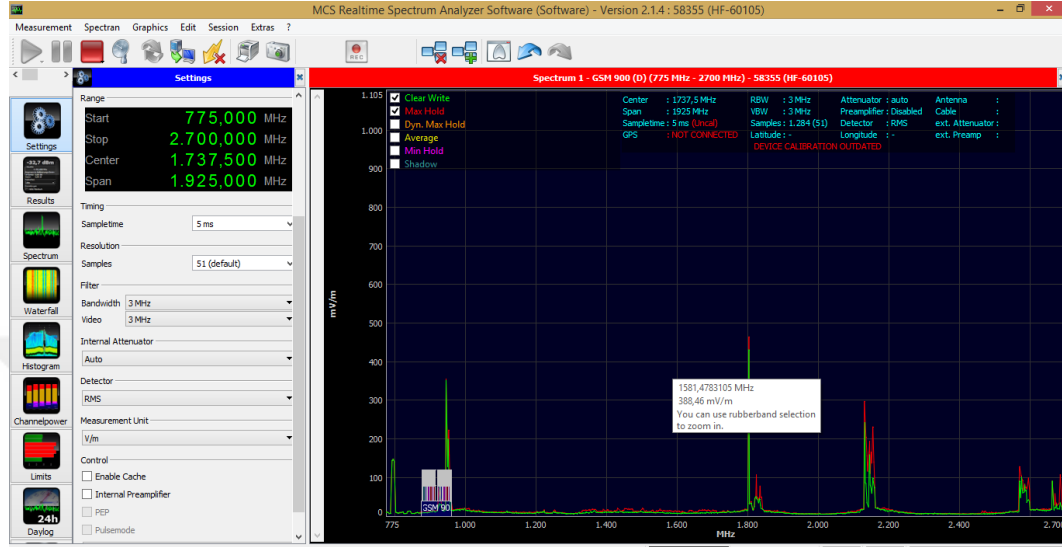
Muş Alparslan Üniversitesinde yapılan spektrum analizli ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir. Spektrum analizi sonucunda elde edilen frekans bantları 800 MHz, 900 MHz, 1800MHz, 2100 MHz, 2500 MHz ve 2600 MHz frekans bantlarıdır. 800 MHz frekans bandı dördüncü nesil haberleşme sistemlerince, 900 MHz, 1800 MHz ve 2100 MHz frekans bantları ikinci, üçüncü ve dördüncü nesil haberleşme sistemlerince, 2500 MHz frekans bandı Wi-Fi modemlerince ve 2600 MHz frekans band dördüncü nesil haberleşme sistemlerince kullanılmaktadır.

Spektrum analizi yapılırken görülen kırmızı izler ölçülen maksimum değerleri gösterirken yeşil değerler anlık ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Ölçümler yukarıda belirtilen tüm frekans bantlarını net olarak spektrumda görebilmek için 775 MHz ile 2700 MHz frekans aralığında yapılmıştır. Her 5ms’de bir örnek alınan ölçümlerde bant genişliği çözünürlüğü 3 MHz olarak belirlenmiştir. Her bir noktada yaklaşık 5 dakikalık ölçümler yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Ölçümler Spectran HF-60100 spektrum analizörüyle yapılmıştır.



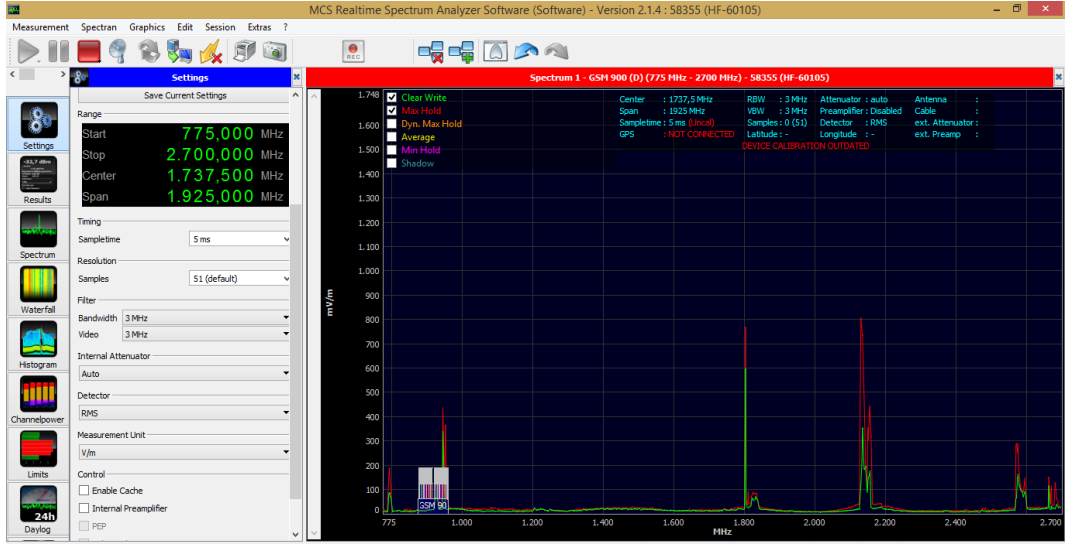
Şekil 4.22. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü dekanlık binası önü spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü dekanlık binası önünde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 35 mV/m, 900 MHz bandında 65 mV/m, 1800 MHz bandında 150 mV/m, 2100 MHz bandında 110 mV/m, 2500 MHz bandında 25 mV/m, 2600 MHz bandında 50 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



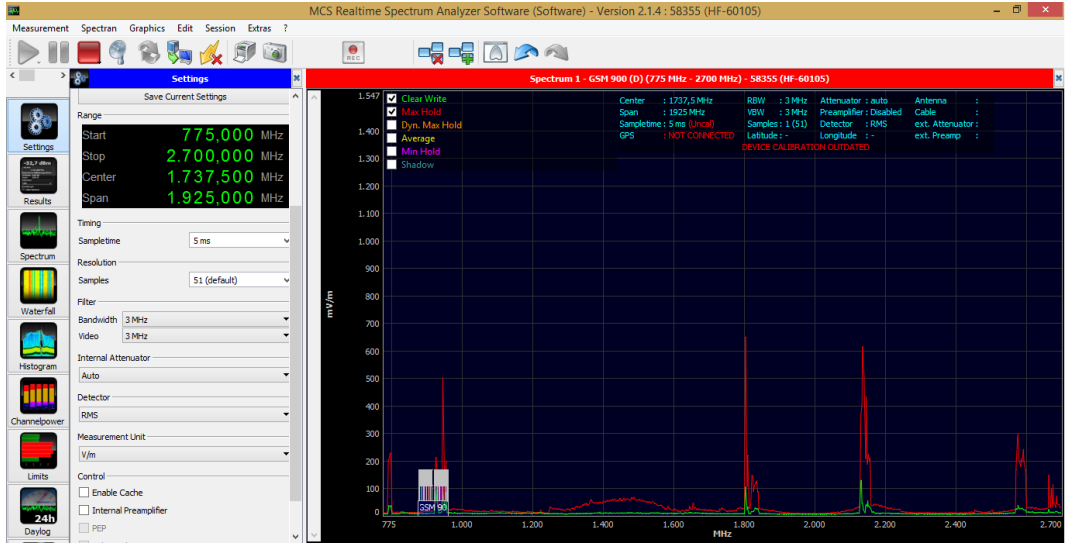
Şekil 4.23. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü MAE derslikleri önü spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü Mehmet Akif Ersoy derslikleri önünde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 150 mV/m, 900 MHz bandında 350 mV/m, 1800 MHz bandında 475 mV/m, 2100 MHz bandında 300 mV/m, 2500 MHz bandında 120 mV/m, 2600 MHz bandında 100 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.24. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü HBV derslikleri önu spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü Hacı Bektaş Veli derslikleri önünde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 200 mV/m, 900 MHz bandında 430 mV/m, 1800 MHz bandında 780 mV/m, 2100 MHz bandında 800 mV/m, 2500 MHz bandında 300 mV/m, 2600 MHz bandında 150 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.25. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü lojmanlar önu spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü lojmanlar önünde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 220 mV/m, 900 MHz bandında 500 mV/m, 1800 MHz bandında 650 mV/m, 2100 MHz bandında 620 mV/m, 2500 MHz bandında 300 mV/m, 2600 MHz bandında 150 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



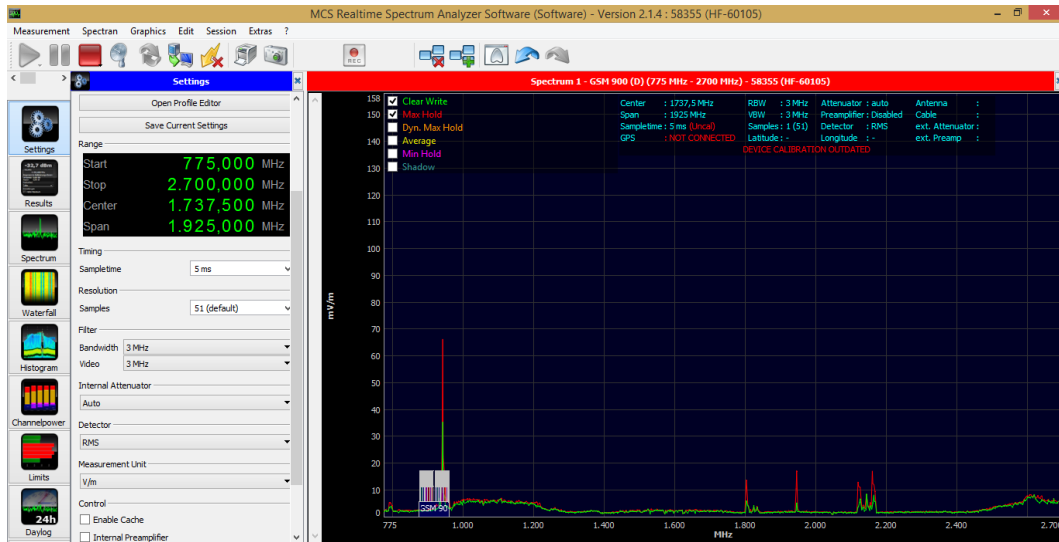
Şekil 4.26. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü ilkököl ve anaokulu önü spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü ilkököl ve anaokulu bahçesinde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 50 mV/m, 900 MHz bandında 100 mV/m, 1800 MHz bandında 55 mV/m, 2100 MHz bandında 95 mV/m, 2500 MHz bandında 35 mV/m, 2600 MHz bandında 25 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



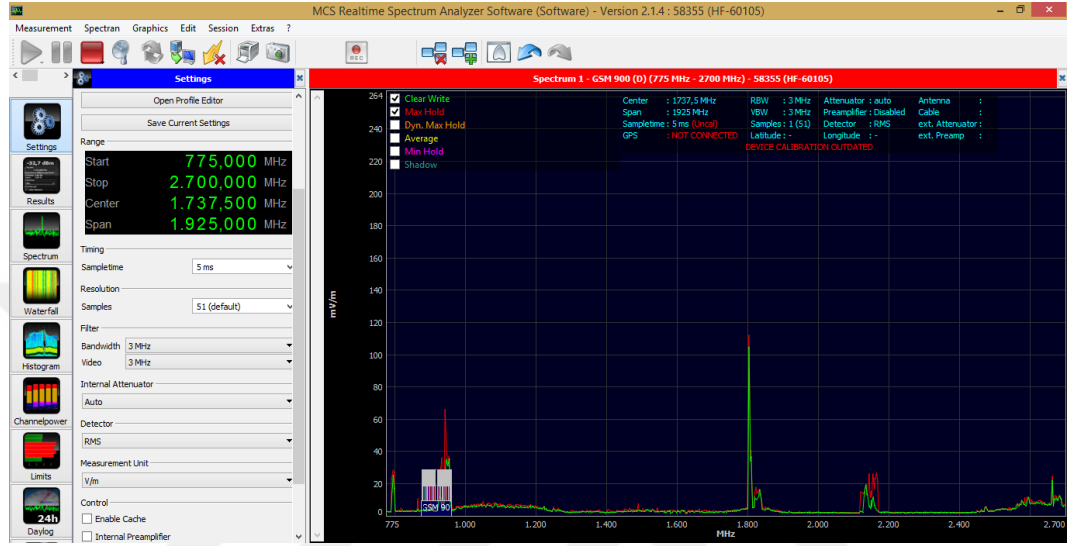
Şekil 4.27. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü spor salonu önü spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü spor salonu önünde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 50 mV/m, 900 MHz bandında 50 mV/m, 1800 MHz bandında 30 mV/m, 2100 MHz bandında 90 mV/m, 2500 MHz bandında 35 mV/m, 2600 MHz bandında 15 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



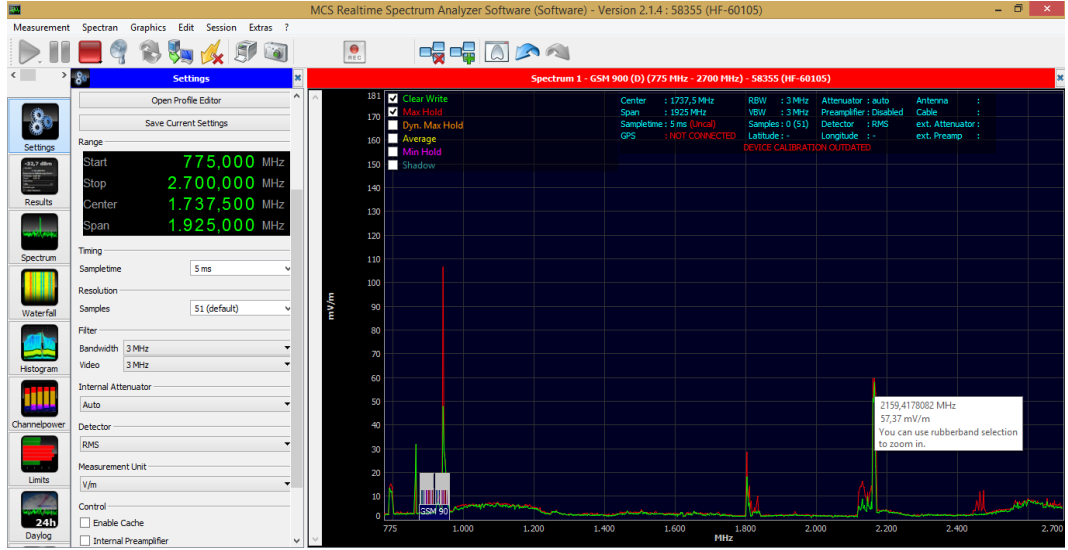
Şekil 4.28. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü merkezi kafeterya önü spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü Merkezi Kafeterya önünde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 5 mV/m, 900 MHz bandında 65 mV/m, 1800 MHz bandında 15 mV/m, 2100 MHz bandında 20 mV/m, 2500 MHz bandında 10 mV/m, 2600 MHz bandında 10 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



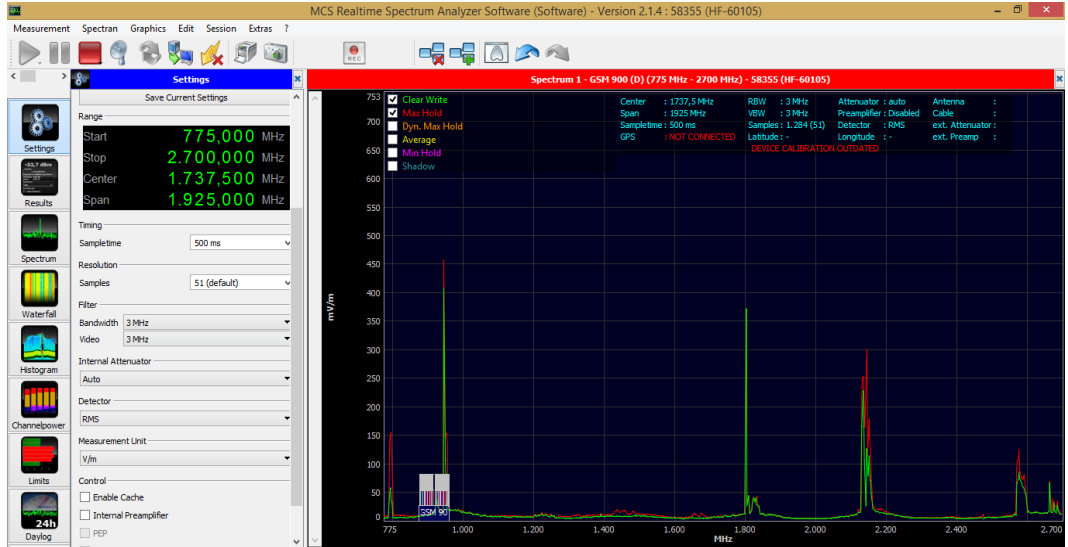
Şekil 4.29. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü yemekhane binası önü spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü yemekhane binası önünde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 30 mV/m, 900 MHz bandında 65 mV/m, 1800 MHz bandında 110 mV/m, 2100 MHz bandında 25 mV/m, 2500 MHz bandında 5 mV/m, 2600 MHz bandında 15 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



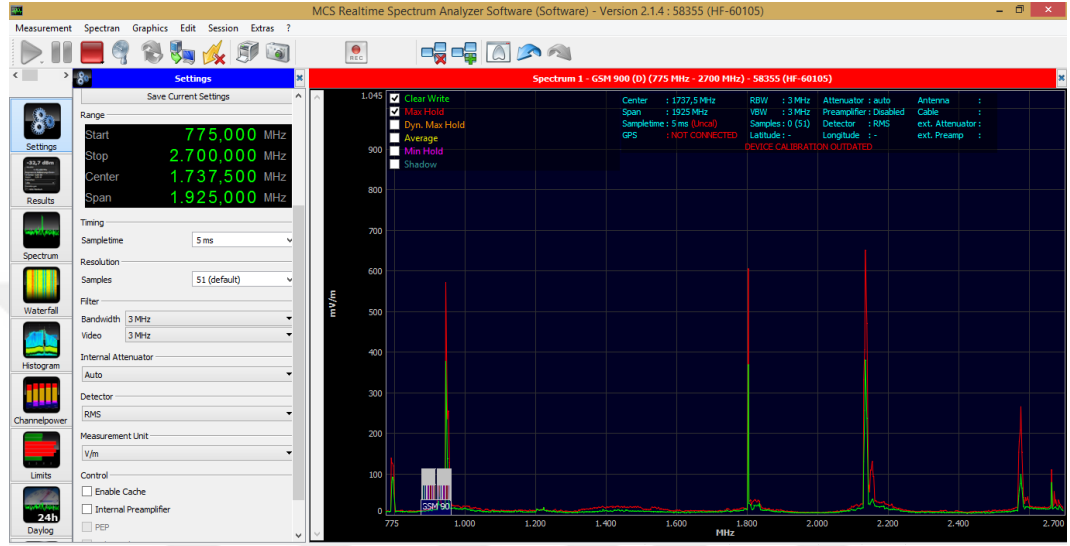
Şekil 4.30. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü kütüphane binası önü spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü kütüphane binası önünde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 15 mV/m, 900 MHz bandında 105 mV/m, 1800 MHz bandında 30 mV/m, 2100 MHz bandında 60 mV/m, 2500 MHz bandında 10 mV/m, 2600 MHz bandında 10 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.31. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü üniversite meydanı spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü meydanında yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 150 mV/m, 900 MHz bandında 400 mV/m, 1800 MHz bandında 375 mV/m, 2100 MHz bandında 300 mV/m, 2500 MHz bandında 125 mV/m, 2600 MHz bandında 75 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.32. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü rektörlük binası önü spektrum analizi sonuçları

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü rektörlük binası önünde yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 150 mV/m, 900 MHz bandında 575 mV/m, 1800 MHz bandında 600 mV/m, 2100 MHz bandında 650 mV/m, 2500 MHz bandında 275 mV/m, 2600 MHz bandında 120 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.

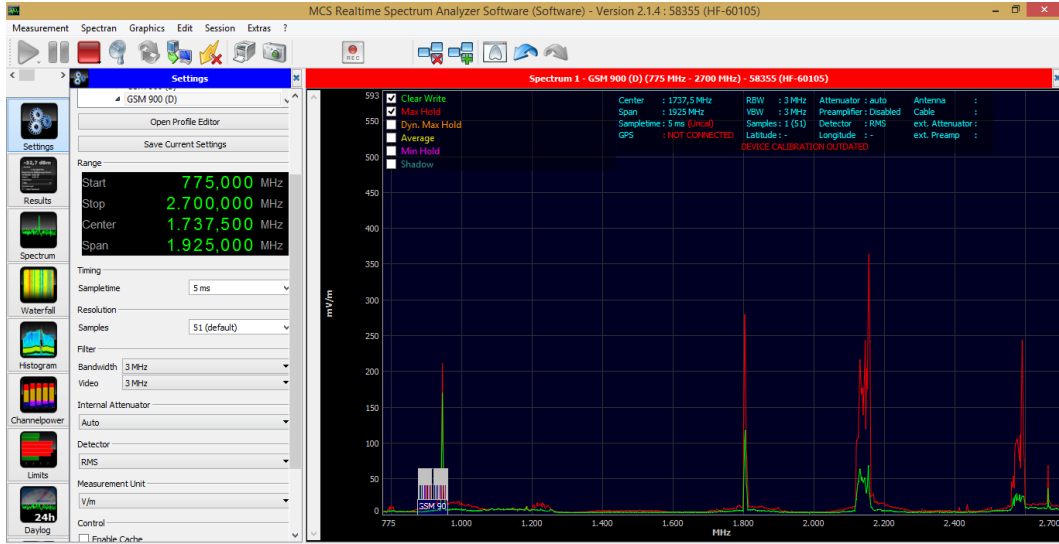
4.2 Muş Şehir Merkezinde Yapılan Ölçümler

Muş şehir merkezinde tüm şehri kapsayacak şekilde seçilen noktalarda ölçümler yapılmıştır. Ayrıca tüm şehir araçla gezilerek yapılan ölçümler ısı haritaları şeklinde verilmiştir.

Şehir merkezinde kullanım sıklığına göre belirlenen 10 farklı noktada yapılan spektrum analizi sonuçları ve ölçümlerin yapıldığı noktaların harita üzerinde gösterimi aşağıda verilmiştir.

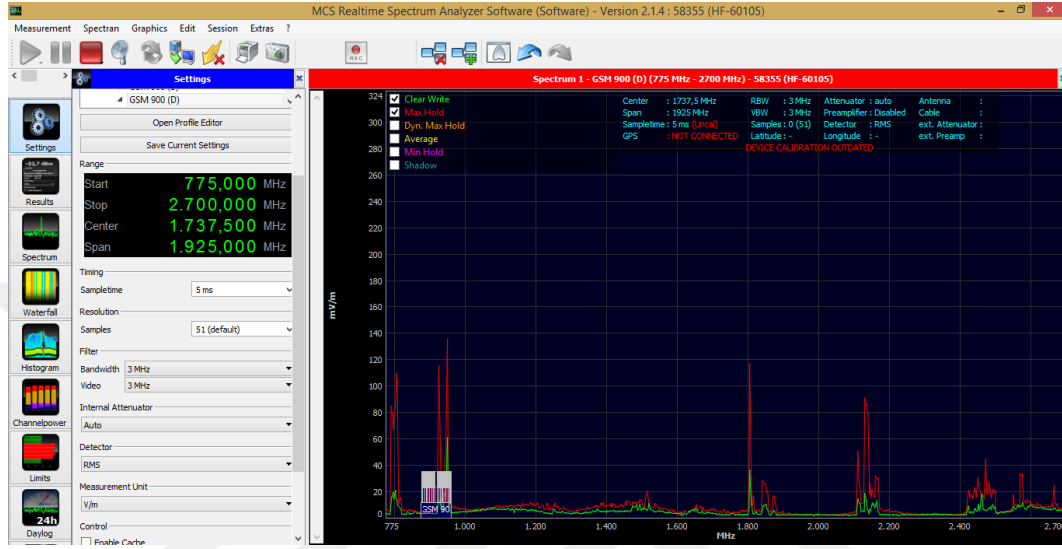


Şekil 4.33. Muş şehir merkezinde spektrum analizi için seçilen noktalar



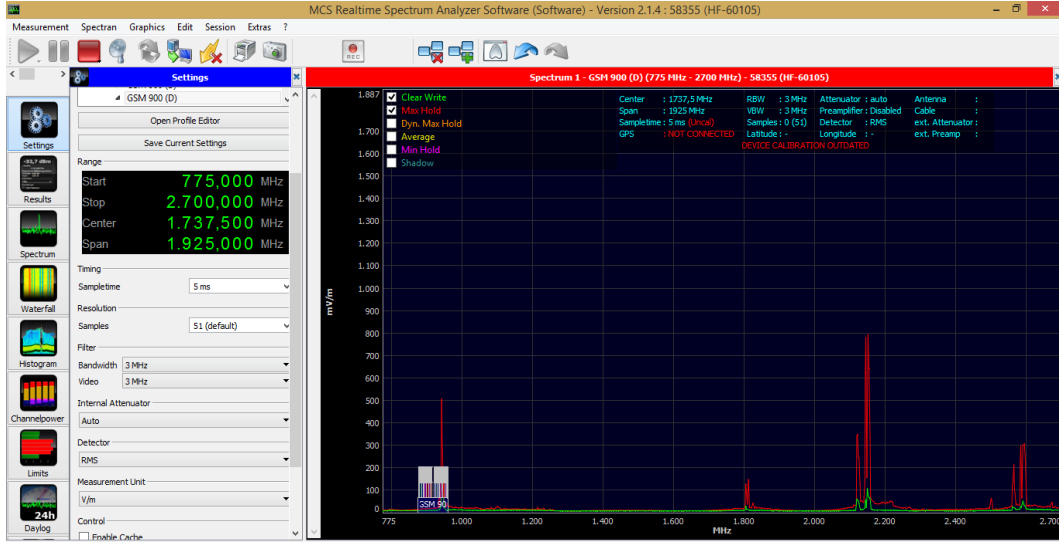
Şekil 4.34. Muş şehir merkezinde 1. nokta spektrum analizi sonuçları

Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 1 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 10 mV/m, 900 MHz bandında 220 mV/m, 1800 MHz bandında 275 mV/m, 2100 MHz bandında 360 mV/m, 2500 MHz bandında 250 mV/m, 2600 MHz bandında 75 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



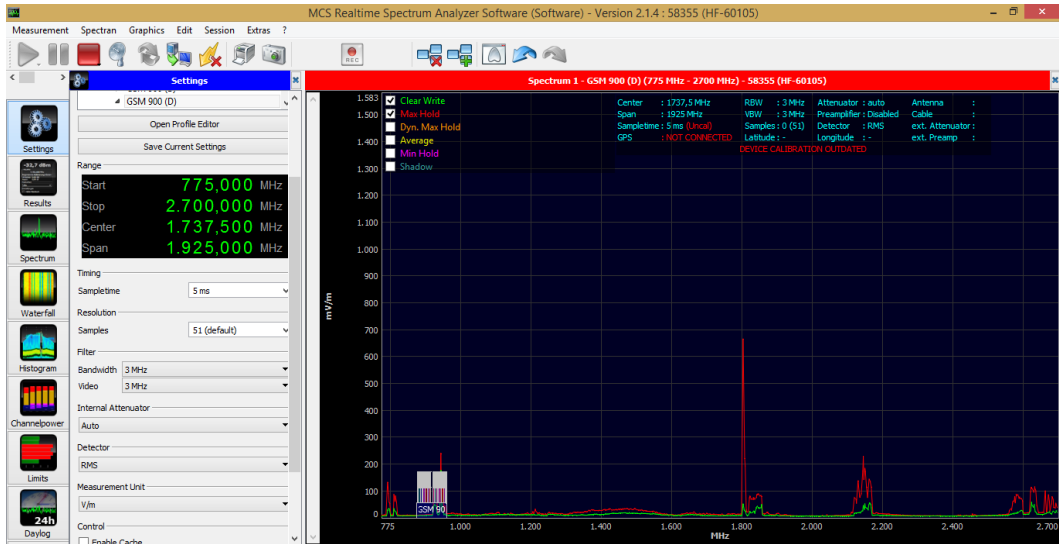
Şekil 4.35. Muş şehir merkezinde 2. nokta spektrum analizi sonuçları

Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 2 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 110 mV/m, 900 MHz bandında 135 mV/m, 1800 MHz bandında 115 mV/m, 2100 MHz bandında 90 mV/m, 2500 MHz bandında 45 mV/m, 2600 MHz bandında 25 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.36. Muş şehir merkezinde 3. nokta spektrum analizi sonuçları

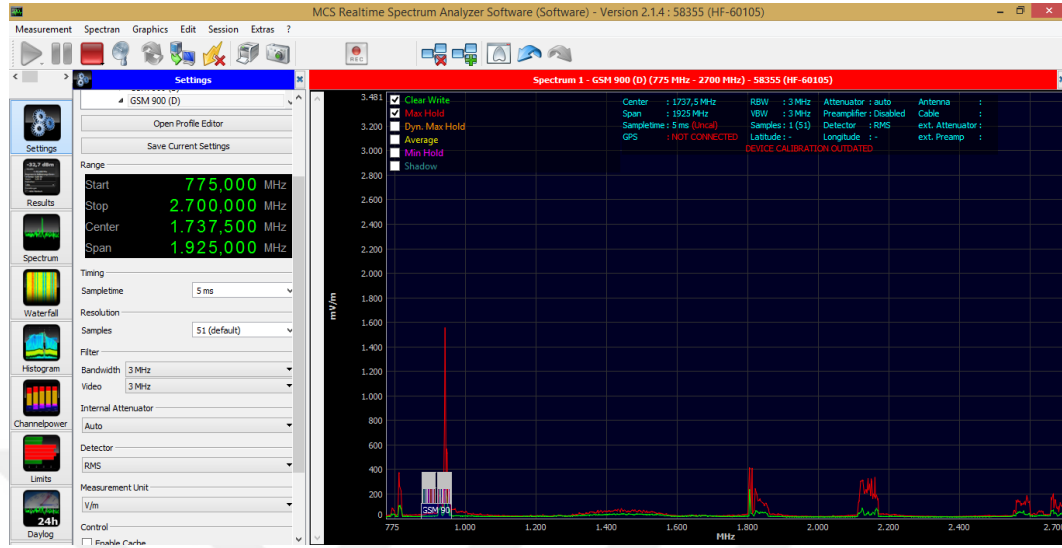
Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 3 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 10 mV/m, 900 MHz bandında 500 mV/m, 1800 MHz bandında 150 mV/m, 2100 MHz bandında 800 mV/m, 2500 MHz bandında 300 mV/m, 2600 MHz bandında 50 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.37. Muş şehir merkezinde 4. nokta spektrum analizi sonuçları

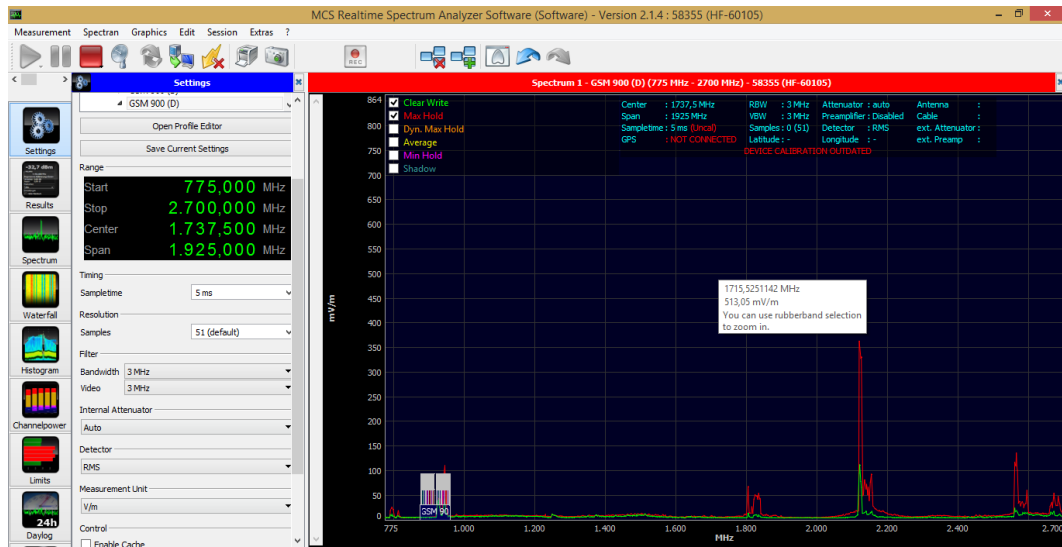
Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 4 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 130 mV/m, 900 MHz bandında 250 mV/m, 1800 MHz bandında 675 mV/m, 2100 MHz bandında 230 mV/m, 2500

MHz bandında 100 mV/m, 2600 MHz bandında 100 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



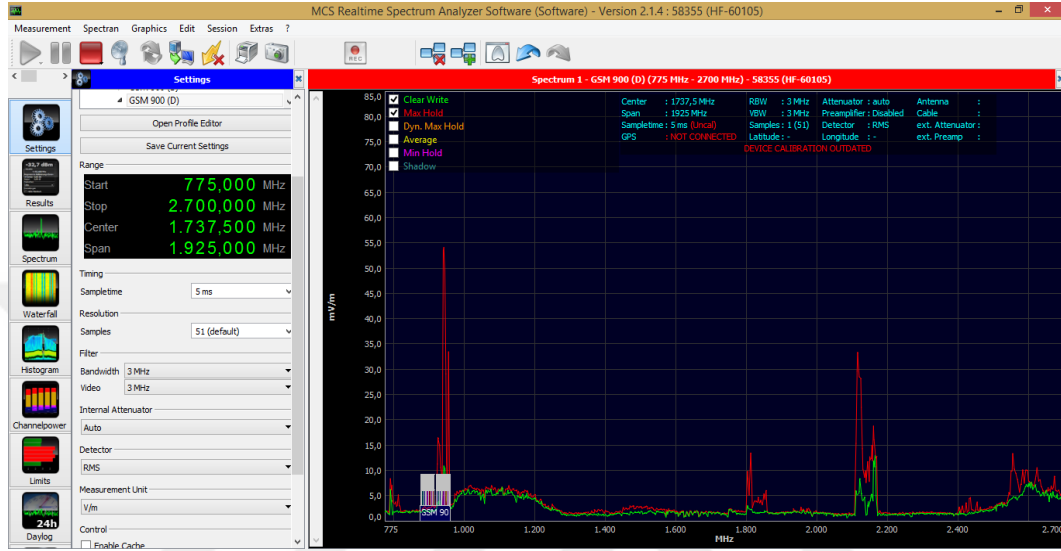
Şekil 4.38. Muş şehir merkezinde 5. nokta spektrum analizi sonuçları

Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 5 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 390 mV/m, 900 MHz bandında 1550 mV/m, 1800 MHz bandında 400 mV/m, 2100 MHz bandında 320 mV/m, 2500 MHz bandında 200 mV/m, 2600 MHz bandında 200 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



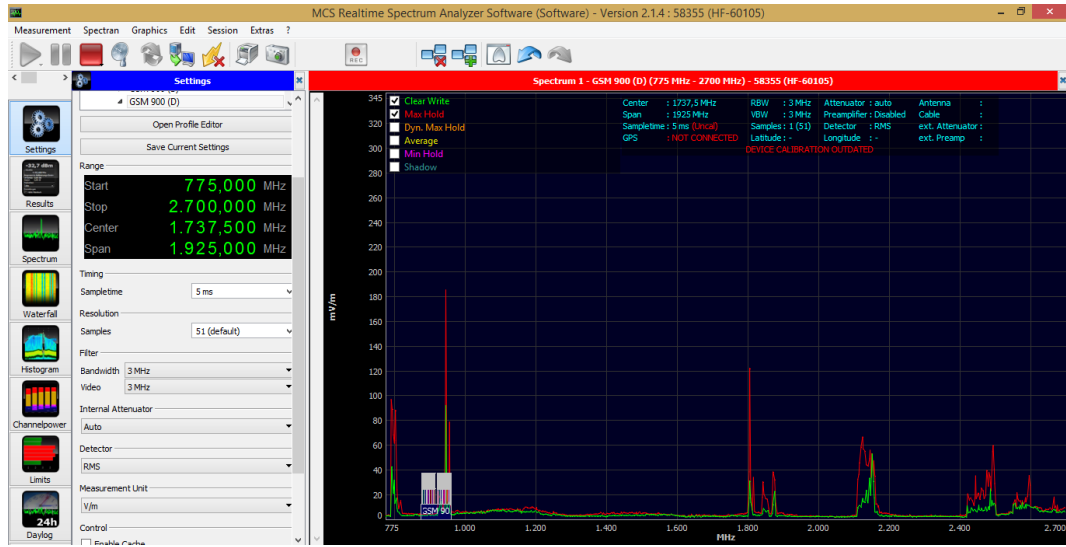
Şekil 4.39. Muş şehir merkezinde 6. nokta spektrum analizi sonuçları

Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 6 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 25 mV/m, 900 MHz bandında 110 mV/m, 1800 MHz bandında 70 mV/m, 2100 MHz bandında 360 mV/m, 2500 MHz bandında 140 mV/m, 2600 MHz bandında 50 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



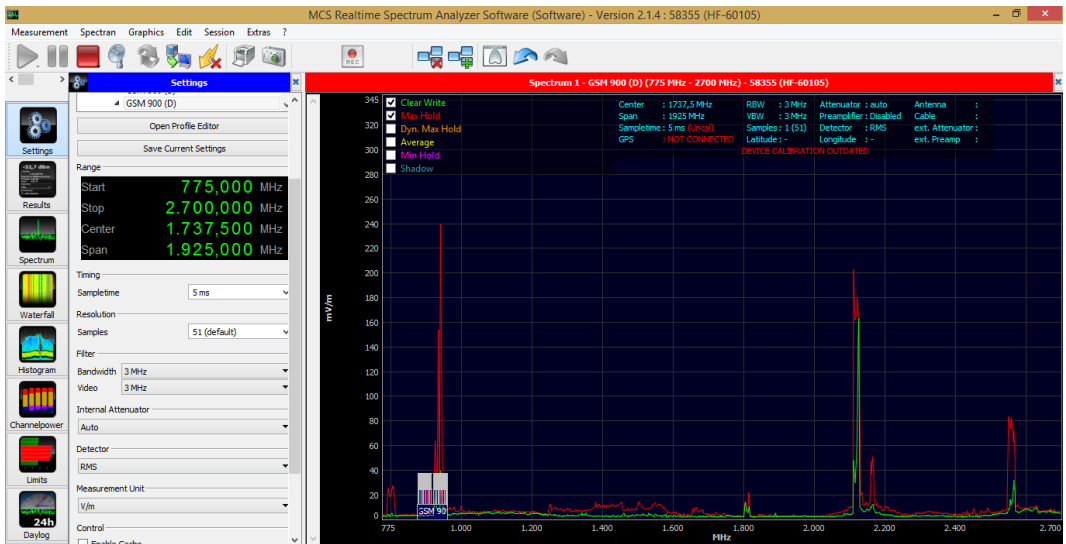
Şekil 4.40. Muş şehir merkezinde 7. nokta spektrum analizi sonuçları

Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 7 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 8 mV/m, 900 MHz bandında 55 mV/m, 1800 MHz bandında 14 mV/m, 2100 MHz bandında 33 mV/m, 2500 MHz bandında 14 mV/m, 2600 MHz bandında 10 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.41. Muş şehir merkezinde 8. nokta spektrum analizi sonuçları

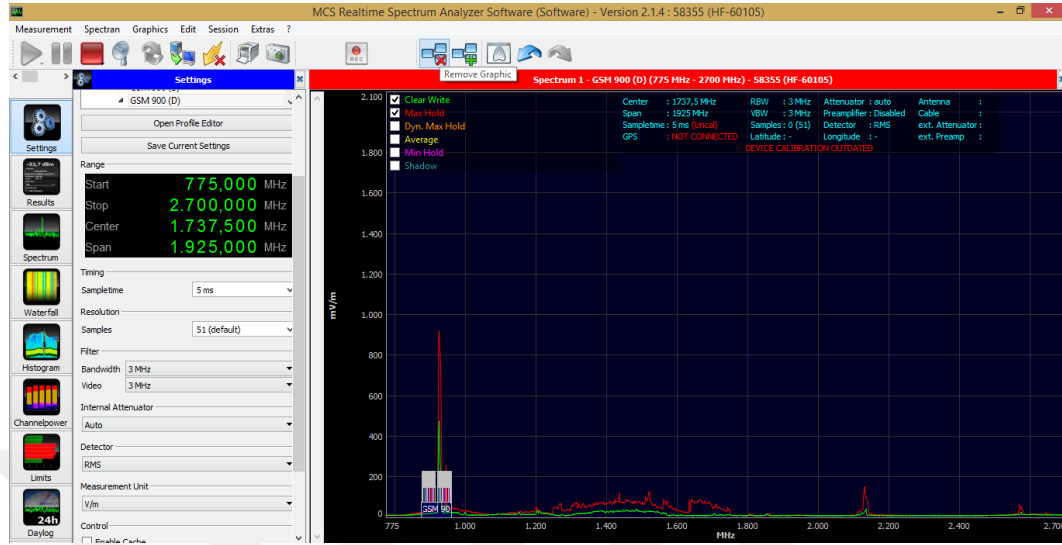
Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 8 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 95 mV/m, 900 MHz bandında 185 mV/m, 1800 MHz bandında 120 mV/m, 2100 MHz bandında 65 mV/m, 2500 MHz bandında 60 mV/m, 2600 MHz bandında 35 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 4.42. Muş şehir merkezinde 9. nokta spektrum analizi sonuçları

Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 9 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 25 mV/m, 900 MHz bandında 240 mV/m, 1800 MHz bandında 20 mV/m, 2100 MHz bandında 210 mV/m, 2500

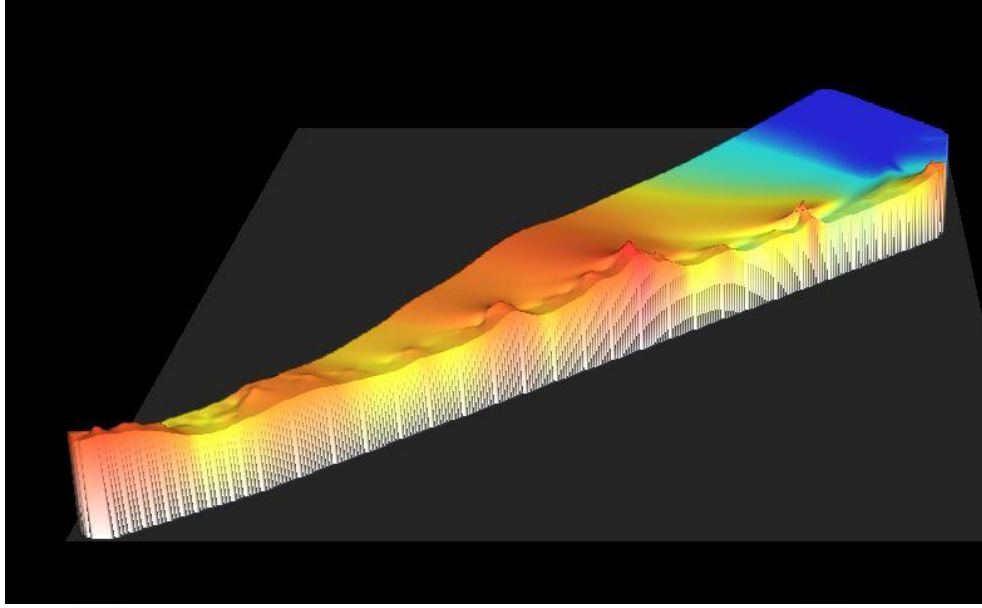
MHz bandında 85 mV/m, 2600 MHz bandında 10 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.



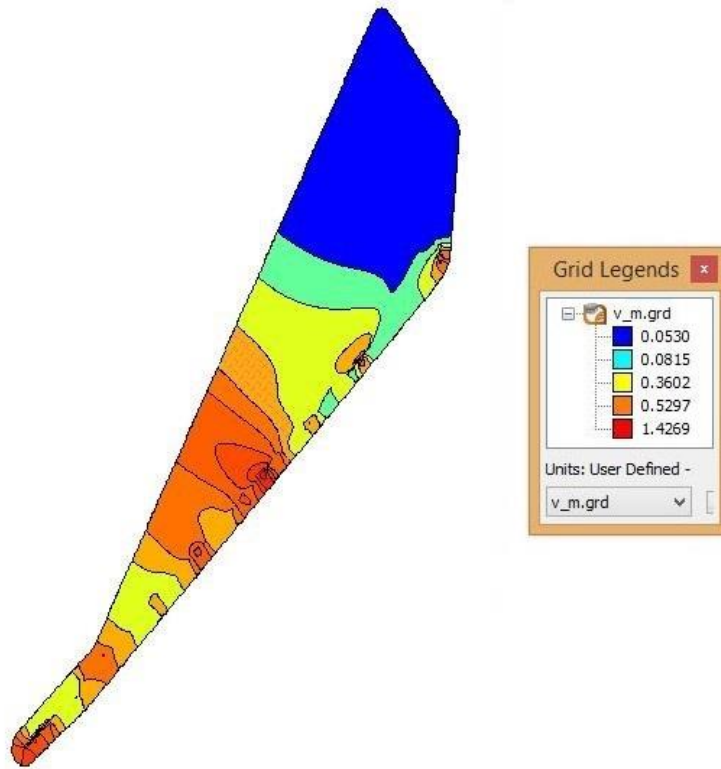
Şekil 4.43. Muş şehir merkezinde 10. nokta spektrum analizi sonuçları

Muş şehir merkezinde seçilmiş olan 10 No'lu noktada yapılan spektrum analizi sonuçlarına göre yaklaşık olarak 800 MHz bandında 10 mV/m, 900 MHz bandında 920 mV/m, 1800 MHz bandında 50 mV/m, 2100 MHz bandında 175 mV/m, 2500 MHz bandında 70 mV/m, 2600 MHz bandında 50 mV/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür.

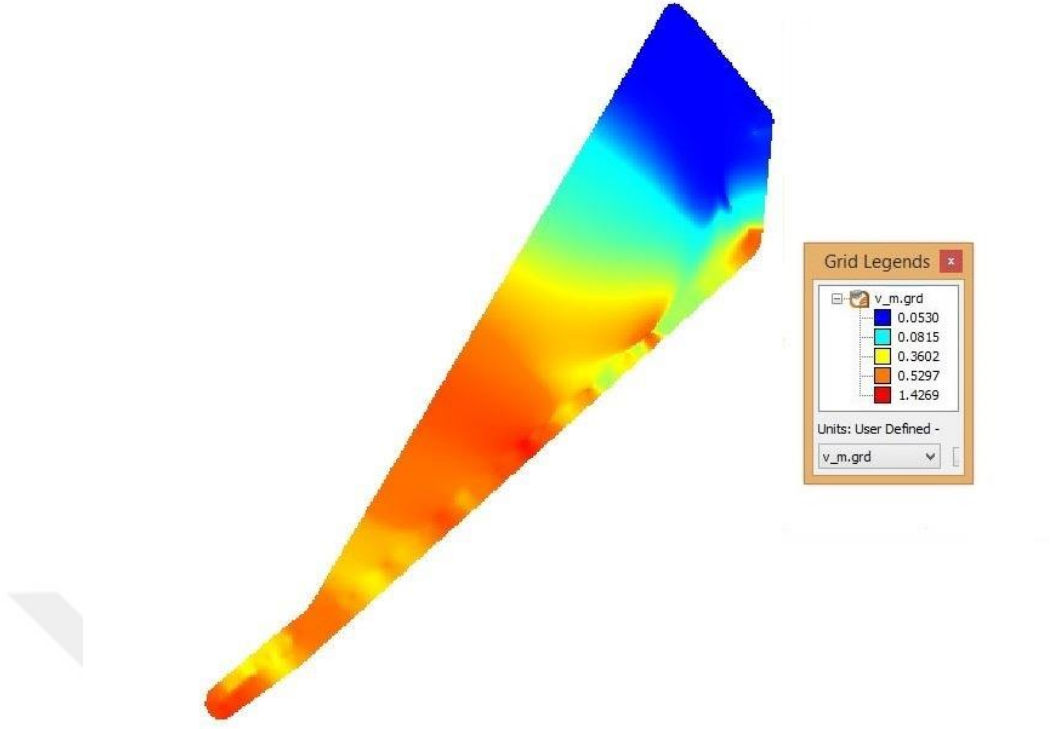
Şehir genelinde yapılar haritalandırılan ölçüm sonuçları da aşağıda verilmiştir. Haritalar Map Info programında Doğal Komşuluk Enterpolasyon yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.44. Muş şehir merkezi ile üniversite arası 3 boyutlu haritası

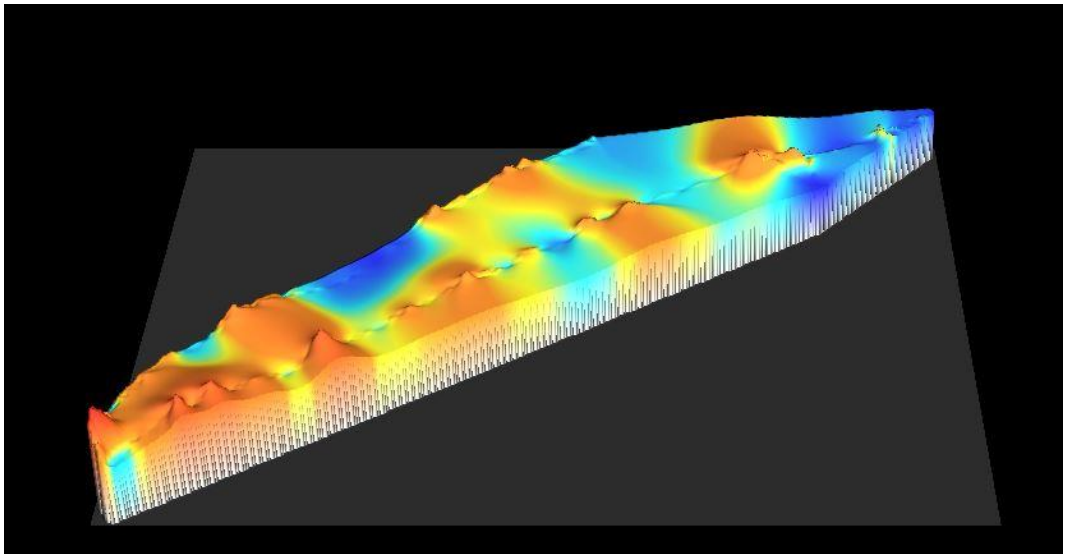


Şekil 4.45. Muş şehir merkezi ile üniversite arası contour haritası

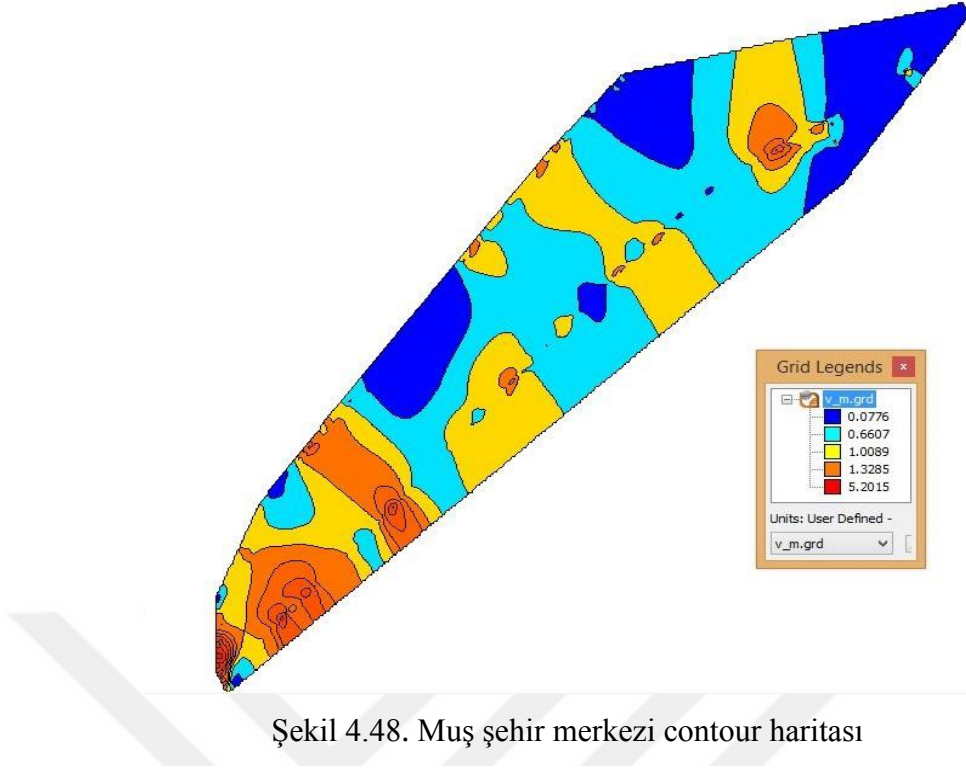


Şekil 4.46 Muş şehir merkezi ile üniversite arası 2 boyutlu haritası

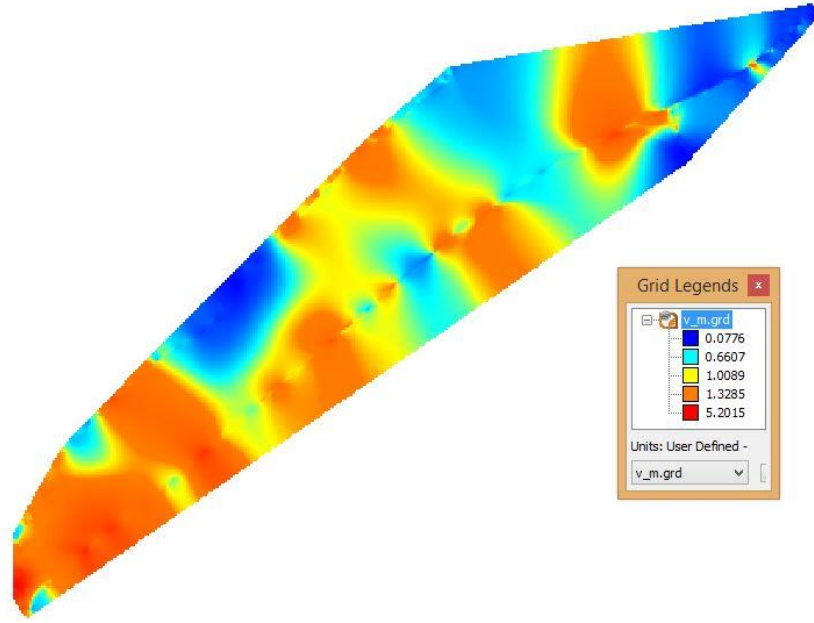
Muş şehir merkezinden Muş Alparslan Üniversitesine doğru 2016 ekim ayında yapılan dinamik ölçümler neticesinde elde edilen ısı haritalarına göre şehir merkezi genelinde en yüksek 1.4269 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre oluşturulan 2D ve 3D haritalar Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.47. Muş şehir merkezi 3 boyutlu haritası



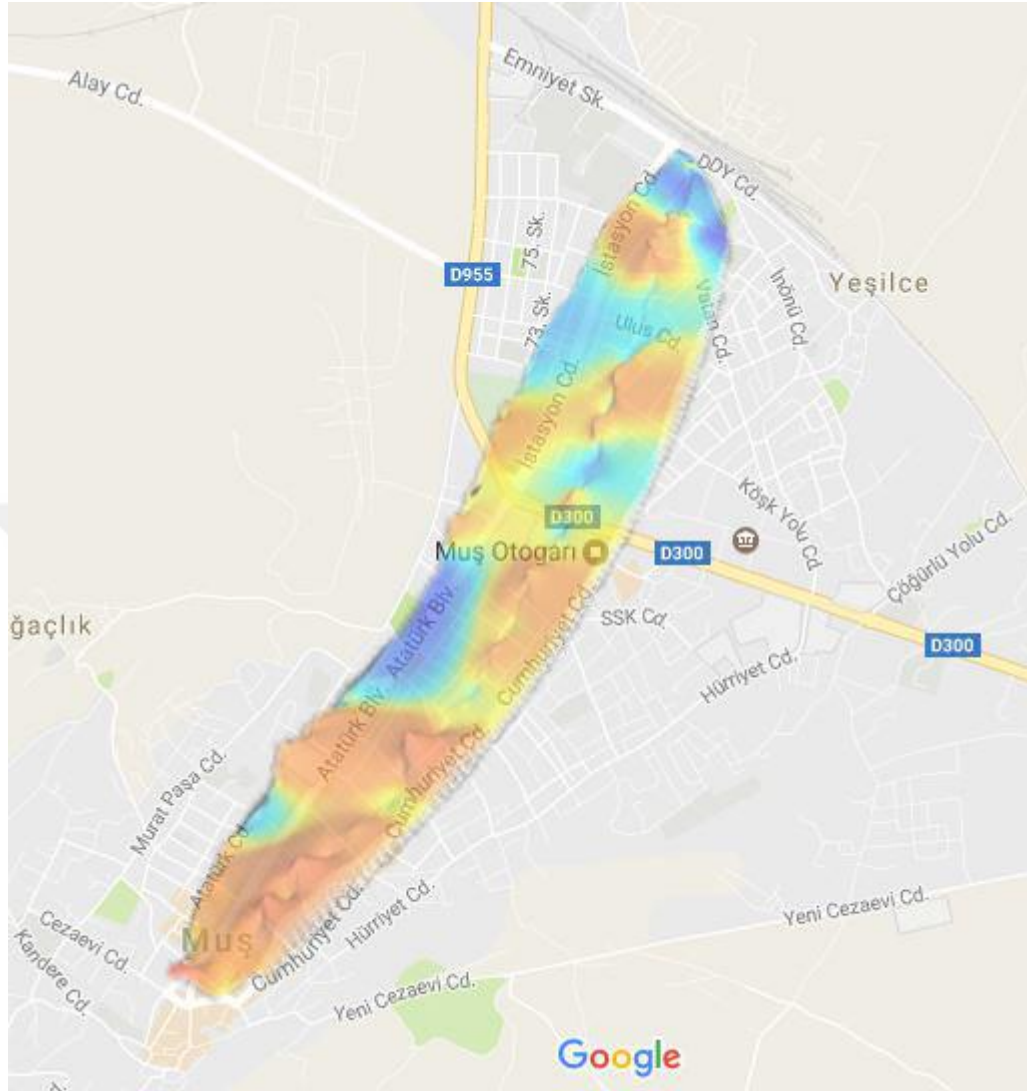
Şekil 4.48. Muş şehir merkezi contour haritası



Şekil 4.49. Muş şehir merkezi 2 boyutlu haritası

Muş şehir merkezinde 2016 Ekim ayında yapılan dinamik ölçümler neticesinde elde edilen ısı haritalarına göre şehir merkezi genelinde en yüksek 5.2015 V/m elektrik alan şiddeti ölçülmüştür. Tüm ölçümlerin genel ortalaması 1.098 V/m olmuştur. Ölçüm sonuçlarına göre oluşturulan 2D ve 3D haritalar Şekil 4.47, Şekil

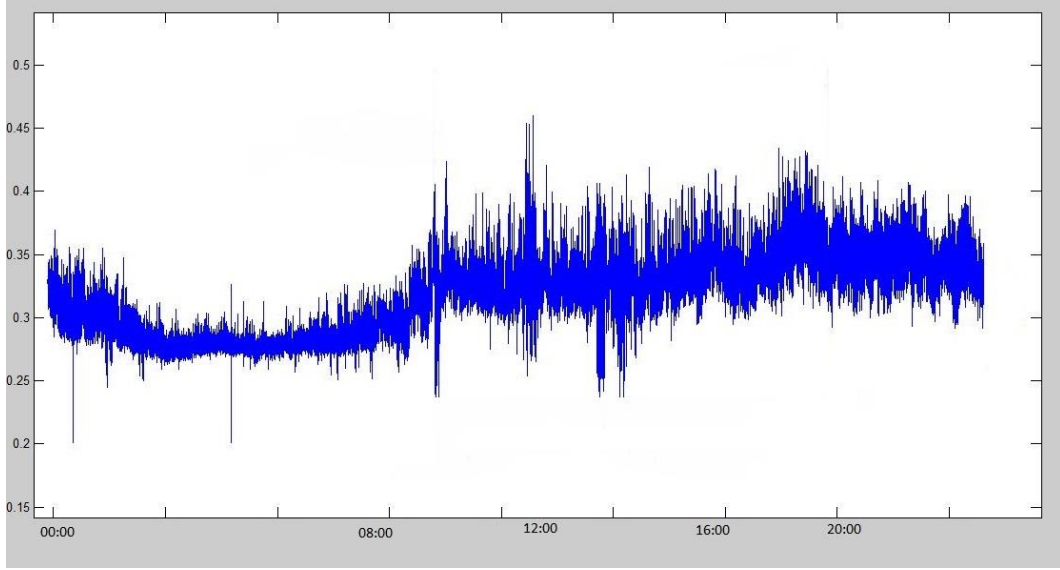
4.48 ve Şekil 4.49’da verilmiştir. Şekil 4.50’de ise oluşturulan elektromanyetik kirlilik haritasının gerçek harita üzerindeki görünümü verilmiştir.



Şekil 4.50. Muş şehir merkezindeki elektromanyetik kirliliğin gerçek harita üzerinde görünümü

4.3 Muş Şehir Merkezinde 24 Saatlik Ölçüm Sonuçları

Muş şehir merkezinde bir evde yapılan 24 saatlik ölçüm sonuçları Şekil 4.51’de verilmiştir. Ölçüm gece yarısı 00:00 da başlayıp ertesi gün 00:00’da sona erdirilmiştir. Her saniye iki birim ölçüm sonucu kaydedilmiş gün sonunda 172000 birim ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonuçları grafiksel hale getirilerek şehir merkezindeki bir evde gün içinde elektromanyetik kirliliğin değişimi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.51. Şehir merkezindeki bir evde 24 saatlik ölçüm verileri

Ölçümlerin yapıldığı ev şehrin en yoğun noktalarından birinde olup çevresinde birçok baz istasyonu bulunmaktadır. Eve en yakın baz istasyonu 250m uzaklıktadır. Ölçülen en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 460mV ile saat 12:00 civarında elde edilirken en düşük elektrik alan şiddeti değeri ise 200mV is saat 04:30 civarında ölçülmüştür. Grafiğin başlangıç noktası gece yarısı 00:00’başlayarak bitiş noktası bir sonraki gün gece yarısı 00:00’da bitmektedir.

Yapılan bu ölçümler merkezi bir noktada elektromanyetik kirliliğin yaşam alanları içine nasıl yansıdığını göstermek amacıyla yapılmıştır. Aynı zamanda 24 saatlik zaman dilimi içerisinde elektrik alan değerinin nasıl değiştiğini göstermektedir.

Ev içerisinde camlardan en az 1.5m uzaklıkta çeşitli saatlerde yapılan 200’ün üzerinde anlık ölçümde ise ortalama olarak 120mV elektrik alan değeri ölçülmüştür. Ev içerisinde camların 30cm yakınında ölçülen elektrik alan değerinin 24 saatlik ortalaması 370mV/m olarak hesaplanmıştır. Benzer bir zaman diliminde fakat farklı bir günde apartman dışında zeminden 1.5m yükseklikte ölçümlerin yapıldığı odanın yaklaşık 2m önünde yapılan ölçümlerde ise ortalama 600mV/m elektrik alan değeri ölçülmüştür.

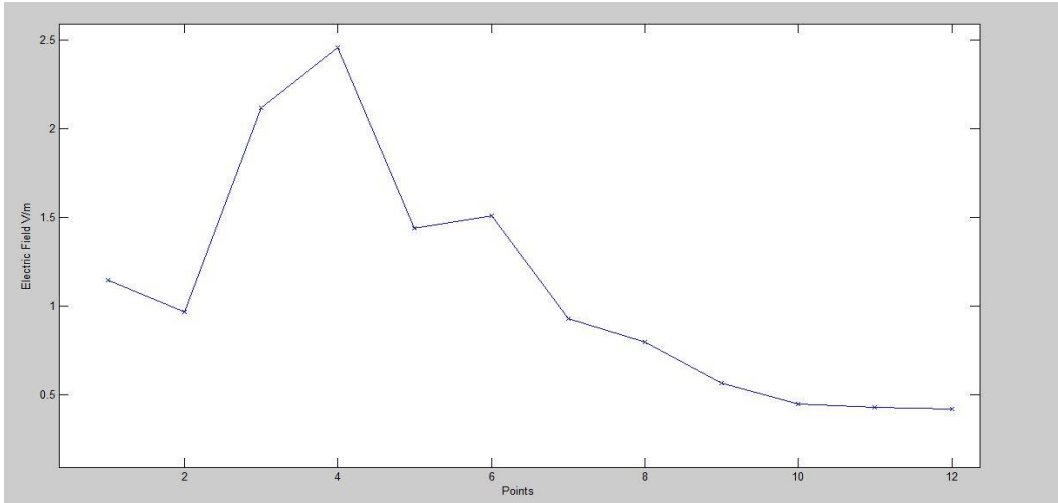
4.4 Bir Baz İstasyonundan Farklı Yönlerde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Bir baz istasyonundan 90° arayla yapılan iki yönlü ölçümlerle baz istasyonlarının her yönde yaydığı elektromanyetik alanların farklı olduğu gösterilmeye çalışılmıştır. Yönler ve ölçüm noktaları Şekil 4.41’da gösterilmiştir.

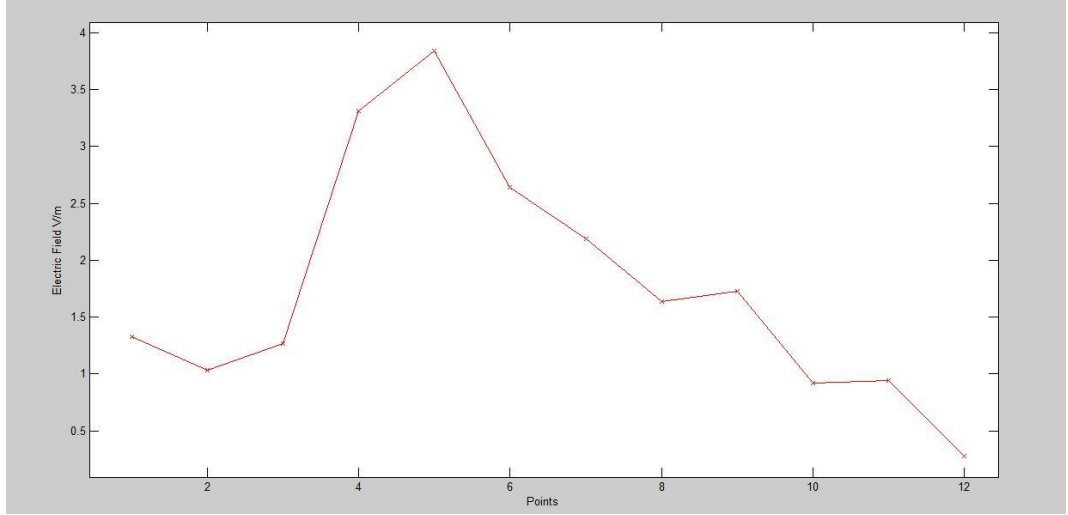


Şekil 4.52. Bir baz istasyonu çevresinde iki yönlü ölçümler

Arasında 90° olan iki yönde kırmızı ve mavi noktalarla gösterildiği şekilde 50’şer metre aralıklarla her bir yönde 12 ölçüm yapılmıştır. Baz istasyonundan toplam 600 metre uzaklığa kadar ölçümler yapılmıştır. Bu bölge yakınlarda başka yerleşim yeri olmamasından dolayı yalnızca bir baz istasyonunun etkilerini görmek açısından uygun bir noktadır.



Şekil 4.53. Mavi noktalarda yapılan ölçüm sonuçları



Şekil 4.54. Kırmızı noktalarla yapılan ölçüm sonuçları

Şekil 4.42 ve Şekil 4.43’de iki farklı yöndeki elektromanyetik alan ölçümleri verilmiştir. Ölçümler SMP2 cihazı ve WPT mobil frekans probuyla yapılmıştır. Yani ölçüm sonuçları sadece baz istasyonunun yaydığı elektromanyetik dalgaları göstermektedir. Mavi noktalarda ölçülen en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 200 metre de 2.46 V/m’dir. Kırmızı noktalarda ölçülen en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 250 metrede 3.84 V/m’dir.

Görüldüğü günü aynı zaman diliminde ölçülen iki yönlü elektromanyetik kirlilik ölçümlerinde farklı sonuçlar alınabilmektedir. Bir yönde ölçülen maksimum değer 200 metrede iken diğer yönde 250 metrede. Tüm ölçüm değerleri arasında %46’lık bir fark vardır ki bu aynı baz istasyonunun çevresinde ölçüm yapıldığı düşünüldüğünde oldukça büyük bir farktır.

4.5 Baz İstasyonu Antenlerinin Yaydığı Elektromanyetik Alanın Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi

Türkiye genelinde 4.5G sistemlerine geçiş yapılmasına rağmen, Muş ve yakın bölgelerdeki baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların frekanslarının baskın olarak 900, 1800 ve 2100 MHz düzeylerinde olduğu yapılan ölçümlerde belirtilmiştir. İleride bu frekans spektrumlarının 4.5G ve 5G sistemlerine uygulanmasıyla daha da yükseleceği aşıkardır. Ayrıca bu sinyallerin seviyeleri de yerel noktalarda kullanılan sistemlerden (Wi-Fi, TV, radyo) kaynaklanan diğer frekanslı sinyallerle yoğunlaşacaktır. Dolayısıyla baz istasyonu antenlerinin yakın

veya uzak alan bölgelerinde ölçülen elektromanyetik alan seviyeleri herhangi seçilmiş bir sinyalin değil, farklı frekanslardan oluşmuş bir gürültü sinyalinin değeri olacaktır. Gerçekte de çevrede bulunan bu elektromanyetik kirlilik etraftaki bitki ve canlıları etkileyen temel kaynak olarak varsayılabilir. Buna göre, baz istasyonları antenlerinin yaydıkları elektromanyetik alanları frekans spektrumuna göre değil, ölçülen toplam alan seviyesine göre değerlendirmek daha mantıklı olacaktır. Son yıllarda çevredeki elektromanyetik alan kirliliğinin canlılar ve bitkiler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi yönündeki yapılan çalışmalar da esasen bu yaklaşımı baz almaktadır [114]. Fakat bu yaklaşımda elektromanyetik alanın elektrik veya manyetik bileşenlerinin yakın veya uzak bölgelerdeki değişimlerinin dipol yaklaşımından daha farklı bir formül veya ifade ile belirleneceği dikkate alınmalıdır. Bu durumda ise analitik veya ampirik olarak elde edilen elektrik alan ve manyetik alan değerlerinin gerçek değerlerle kıyaslandığında oluşan hataları da değerlendirmek gerekmektedir. Buna göre tez çalışmasında yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi için ortamdaki toplam elektromanyetik alan seviyesi değerleri ve ölçüm koşullarını dikkate alan aşağıdaki yaklaşım kullanılmıştır.

Günümüzde bir çok modern baz istasyonunda olduğu gibi Muş bölgesinde kullanılan baz istasyonlarında da alıcı ve verici antenler farklı frekanslarda çalışmaktadır. Başka bir deyişle Kathrein türü antenler kullanılan baz istasyonları hem Türk Telekom, Vodafone hem de Turkcell kullanıcılarına hizmet etmektedir. Yoğun iletişim trafiğine sahip olan bu baz istasyonu antenlerinin ön ve arka bölgelerindeki elektromanyetik dalgaların yakın bölgede karmaşık veya silindirik dalga, uzak alanda ise küresel şekilli olduğunu varsayabiliriz. Dalganın yayılma yönü şartı olarak Z yönünde olduğunu kabul edersek, elektrik alan şiddetinin bileşenleri arasındaki ilişki denklem 4.1'deki gibi olur.

$$|E_r(r,z)| \ll |E_z(r,z)| \quad (4.1)$$

Bu durumda yayılan dalganın güç yoğunluğu (silindirik dalga koşulunda ise) 4.2'deki gibi olur.

$$\text{Re}\{ \frac{1}{2} \cdot E_z \cdot H_\theta \} = |E_z|^2 / Z_d \quad (4.2)$$

Burada Z_d elektromanyetik dalganın yayıldığı ortamın dalga empedansıdır. Fakat antenlerde yapılan ölçümlerde, yukarıdaki formüller tek dipolden oluşan elektromanyetik dalga için düşünüldüğü halde bölgedeki elektromanyetik alanın hem antenlerden hem de ortamdaki diğer kaynaklardan oluştuğunu dikkate almalıyız. Bu durumda toplam elektrik alan için aşağıdaki formülü yazabiliriz.

$$\sqrt{Ex^2 + Ey^2 + Ez^2} > |E_z|^2 \quad (4.3)$$

Bölgedeki veya noktadaki toplam elektrik alan şiddeti genliğini ölçmek için tez çalışmasında iki ölçüm yöntemi kullanılmıştır.

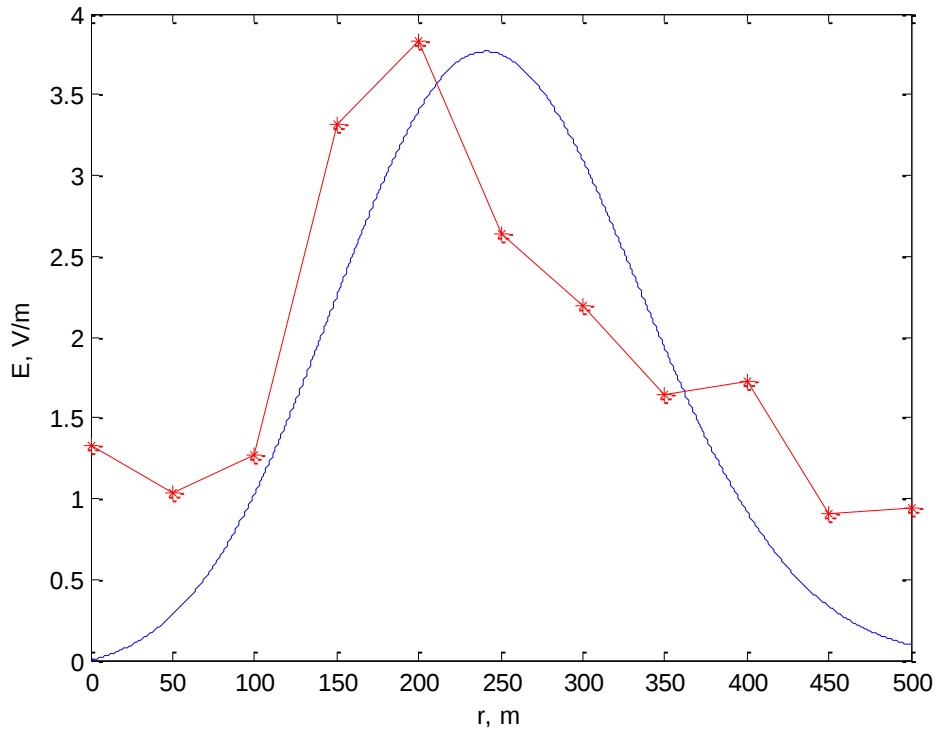
- Radyal yönde; anten merkezinden dik yönde uzaklığa göre elektrik alan değerleri,
- Azimutal yönde; antenden belli sabit uzaklıkta polar açı yönünde elektrik alan değerleri (Bu ölçüm mobil olarak yapıldığına göre dinamik ölçüm yöntemi olarak tanımlanmıştır.)

Radyal yönde ölçülen elektrik alan değerleri anten merkezinden ön ve arka taraflarda merkez eksenini boyunca ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.53 ve 4.54'te gösterilmiştir. Elektrik alan değerlerini ifade eden bu şekilden görüldüğü gibi antenden uzaklaştıkça elektrik alandaki değişim grafiği Rayleigh dağılımı grafiğine benzerlik göstermektedir. Bu nedenle elektrik alan değişimi

$$E = E_0 \left(\frac{r}{r_0} \right) \exp[-\alpha \left(\frac{r}{r_0} \right)^2] \quad (4.4)$$

Burada r_0 silindirik dalganın sınır uzaklığını yani yakın bölgenin sınırı olarak değerlendirilebilir. E_0 bölgedeki toplam elektrik alanının ortalama değeridir. α düzeltme katsayısıdır. Örneğin Şekil 4.54'deki ölçüm sonuçlarına göre, $f = 900$ MHz 4×1 tırlu anten için $D = 1.6$ m ise $r_0 = 0,6N\sqrt{D^3/\lambda} = 8,87$ m olduğu varsayılmış olursa, o halde ölçülen elektrik alan değerlerinden en büyük değere karşılık gelen $r = 200$ m için $\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{200}{8,87} \right)^2 = 9,84 \cdot 10^{-4}$ olur. Bu değerler dikkate alındığında Muş bölgesinde bulunan bir baz istasyonundan yayılan elektrik alanının değişimin teorik ifadesi ($f = 900$ MHz) denklem 4.4'deki gibi $r_0 = 200$ m ve $\alpha = 2$ alınarak yazılabilir.

$$E = E_0 \left(\frac{r}{200} \right) \exp[-2 \left(\frac{r}{200} \right)^2] \quad (4.5)$$



Şekil 4.55. Muş bölgesinde baz istasyonu anteninden yayılan elektrik alanı değişiminin teorik ve ölçüm sonuçları

Teorik olarak hesaplanmış olan elektrik alan değeri Şekil 4.55’de gösterilmiştir. Teorik değerler sürekli bir çizgi şeklinde gösterilirken ölçüm değerleri noktasal olarak şekilde gösterilmiştir. Görüldüğü gibi teorik sonuçlarla ölçüm sonuçları büyük oranda benzerlik göstermektedir. Uyumluluk bakımından ise grafikler yeterince uyumlu görünmemektedirler. Bunun temel nedeni ise ölçülen değerlerin hassasiyetinin düşük olmasıdır. Ölçümden elde edilen deneysel değerler yeterince belirgin bir dalgalanmaya sahiptirler. Bu dalgalanmaları gidermek için yeterince çok sayıda ölçüm yapılması ve ölçüm yönteminin ve hata değerlendirilmesi metodunun geliştirilmesi gerekmektedir. Bu işlemler için en kolay yöntem sürekli ölçüm tekniğinin kullanılmasıdır [99]. Sonuç olarak elektrik alan şiddetindeki değişimlerin değerlendirilmesinde " α " düzeltme katsayısı, sinyalin frekansı, dipol sayısı, anten boyutları, sayısı ve iletişim trafiğine göre farklı olacaktır. Bu nedenle " α " değerinin bölgedeki seçilmiş baz istasyonu anteni etrafında ölçülen eşdeğerine göre belirlemek daha doğru bir yaklaşım olabilir zira bu durumda " α " değerini yukarıda adı geçen parametrelere gereksinim kalmayacaktır. Düzeltme katsayısı değeri daha genel ve kullanışlı olur. Görüldüğü gibi baz istasyonu antenlerinin

yaydıkları elektrik alan aslında Rayleigh dağılımına göre değerlendirilebilir. Fakat Muş ve bölgesindeki baz istasyonlarında farklı olarak, daha yoğun çalışma koşullarında olan ve daha yüksek frekanslı sinyalleri içeren baz istasyonlarının yaydıkları elektrik alan, antenden uzaklaştıkça belirgin bir şekilde eksponent değişim göstermektedir [113]. Bu nedenle çağdaş baz istasyonlarının yaydıkları elektrik alan değişimini basit eksponent bir fonksiyonla da değerlendirebiliriz. Örneğin yukarıdaki koşullar göz önüne alınırsa elektrik alan şiddeti değerinin genliğini denklem 4.6'daki gibi yazabiliriz.

$$E = E_0 e^{-\alpha r} \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'nın 4.5'den farkı elektrik alanın herhangi bir maksimuma sahip olmaksızın sürekli azalın bir fonksiyon olmasıdır. Burada düzeltme katsayısı 2 veya 3 ölçüm sonucuna göre kolaylıkla belirlenebilir. Örneğin yapılan çalışmalarda belirtildiği üzere 6x2 f=1800 MHz P=30W anten için elektrik alanın değişimi Çizelge 4.14'te verilmiştir [113].

Çizelge 4.14. Ortalama elektrik alan şiddeti değerinin antenden olan uzaklığa göre değişimi[113]

Deneysel Elektik Alan (V/m)	139	100	73	60	52	48	45	41	40	38	35
Antenden Uzaklık (r/λ)	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Teorik Elektik Alan (V/m)	121	105,8	79,9	60,4	45,6	34,5	26,1	19,7	14,9	11,2	8,5

Başlangıç olarak karakteristik bir nokta seçilerek (ICNIRP standartlarına göre) elektrik alanın değişimi için düzeltme katsayısı değeri 0,14 olarak elde edilir. Elektrik alanın değişimi ise denklem 4.7'deki gibi yazılabilir.

$$E = 140 e^{-0,14(r/\lambda)} \quad (4.7)$$

Benzer şekilde diğer antenler için de elektrik alanın değişimi elde edilebilir. Görüldüğü gibi, çok az sayıda yerel ölçüm yapılarak elektrik alanın değişiminin analitik ifadesi elde edilebilir.

Dinamik ölçüm yönteminde ise, araba üzerine monte edilmiş ölçüm probu ile anten çevresinde belirli bir uzaklıkta ölçümler yapılarak elektrik alanın değişimi değerlendirilebilir. Bu ölçümlerde antenden $-45^\circ < \theta < 45^\circ$ bölgesinde ölçülen değerler dikkate alınmaktadır. Fakat mobil aracın hızı ölçüm yarıçapının anten etrafında yeterince eğrisel olması nedeniyle bu ölçüm sonuçları ciddi farklılıklar göstermektedir. Buna göre ölçüm sonuçlarının gerçek bir ortalama değere ulaşabilmesi için ölçüm veya gözlem sayısını doğru seçmek gereklidir. Bu işlem olasılık teorisine göre yapılabilir [114]. Bu yaklaşıma göre %90 olasılıkla ölçüm yapılabilmesi için denklem 4.8 sağlanmalıdır.

$$P\left(m - \frac{6}{\sqrt{N}} \leq E \leq m + \frac{6}{\sqrt{N}}\right) = \%90 \quad (4.8)$$

Burada N gözlem sayısıdır. Eğer elektrik alanın ölçüm değerleri $\pm 1,5\text{db}$ bir hata ile belirlenmiş olursa, o halde dinamik ölçüm deneylerinde gereken gözlem sayısı $\frac{6}{\sqrt{N}} \leq 1,5\text{db}$ veya $N \geq 16$ olur. Dinamik ölçümlerde hareket hızının 20-30 km/s olması durumunda bu gözlem sayısı rahatlıkla yakalanabilir.

4.6 Basit Dipol Işınmına Göre Elektromanyetik Alanın Değerlendirilmesi

Genel olarak bir baz istasyonunun etrafında oluşan elektromanyetik alanın bir çok farklı frekans içeren elektromanyetik dalgalardan oluştuğunu belirtilmişti. Bu tür baz istasyonları etrafında oluşan bölgelerin de yakın alan (1. Bölge), geçiş alanı (2. Bölge), uzak alan (3. Bölge) olarak üç bölgeden oluştuğu da bilinmektedir. Literatürde sunulan çalışma sonuçlarına göre bu bölgelerin karakteristiklerini aşağıdaki tabloya göre değerlendirebiliriz.

Çizelge 4.15. Baz istasyonu etrafındaki bölgelerde elektromanyetik alanın özellikleri

Bölgeler	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge
Antenden uzaklığa göre bölge sınırları	$0 \dots \max \frac{\lambda}{D^2/4\lambda}$	$\max \frac{\lambda}{D^2/4\lambda}$	$\max \frac{5\lambda}{5D^2/4\lambda} \dots \infty$

		$\frac{5\lambda}{5D}$ $0,6D^2/4\lambda$	
$E \perp H$	Hayır	Kısmen Evet	Evet
$Z=E/H$	$\neq Z_0=120\pi$	$=Z_0$	$=Z_0$
Ölçülecek bileşen	E ve H	E veya H	E veya H

Burada " λ " dalgaboyu ve " D " antenin en büyük boyutlarıdır. Bu ifade ve tanımlar esasen bir dipolden kaynaklanan elektromanyetik alan için türetilmiştir. Genelde çok sayıda farklı genlik, frekans ve fazlara sahip elektromanyetik dalgaların süper pozisyonundan oluşan alanlar için bu sınırlar değişebilir. Fakat, eğer tek dipol alanının kavramlarını gerçek alan ölçümlerinin değerleri ile kıyaslamış olursak o halde elektromanyetik alanın değişimlerini belirleyen ampirik ifadeler elde edebiliriz. Bu durumda hata paylarını değerlendirmek gerekmektedir. Bu yaklaşım aşağıdaki şekilde yapılabilir. Ortamdaki elektrik alan şiddetinin değişimlerini önce verilen denklemlere göre yazacak olursak denklem 4.9 ve 4.10 elde edilir.

$$E = E_0 \left(\frac{R}{R_0} \right) \exp \left[-\alpha \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 \right] e^{-jkz} \quad (4.9)$$

$$E = E_0 e^{-\alpha R} e^{-jkz} \quad (4.10)$$

Burada dalga sabiti $k = \omega \sqrt{\mu \epsilon}$ şeklinde verilmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre 4.9 ve 4.10 denklemleri yeterince düzeltilmiş şekilde deney sonuçlarına uyum sağlayabilir. Bu durumda elektrik alanın belli bir R noktasındaki indüklediği emk'ya göre elektrik alan aşağıdaki gibi olur.

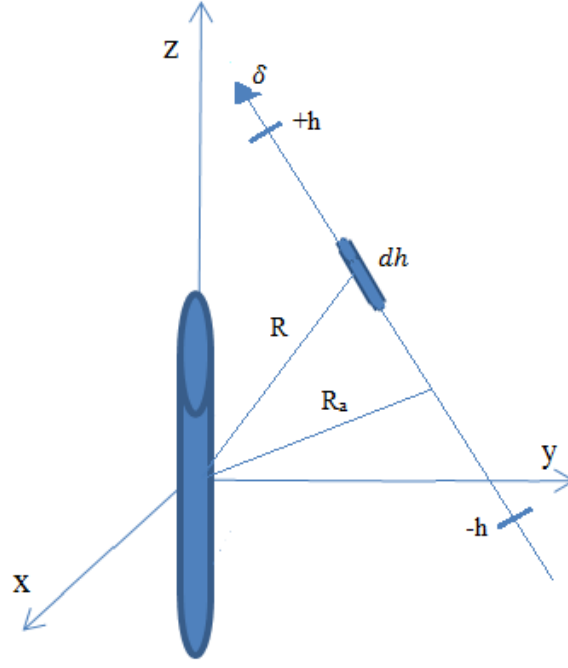
$$e_E = \int_{-h}^h \bar{E} d\bar{h} \quad (4.11)$$

$$e_E = E_0 \int_{-h}^h \left(\frac{R}{R_0} \right) \cdot e^{-\alpha R/R_0} \cdot e^{-jkz} \cos(\bar{E} d\bar{h}) dh \quad (4.12)$$

Burada dh indüklenen dipolün uzunluğudur. 4.13 denklemi 4.9 denklemi dikkate alınarak türetilmiştir.

$$R = \sqrt{R_a^2 + \delta^2 + 2R_a\delta \cos(\bar{E} d\bar{h})} \quad (4.13)$$

Burada ise δ antenin seçilmiş uzunluk elemanıdır. $-h < \delta < h$, $\cos(\bar{E} d\bar{h}) = \bar{a}_E \times \bar{a}_h$, $\bar{a}_E$ ve $\bar{a}_h$ ise $\bar{E}$ ve $\bar{H}$ 'lerin sırasıyla vektörleridir. R_a orijinden dipol merkezine olan uzaklıktır.



Şekil 4.56. Simetrik dipolün koordinat sisteminde görüntüsü

Eğer $\bar{E}$ ve $d\bar{h}$ vektörleri birbirine paralel olursa indüklenen emk hem genlik hem de faz bakımından en büyük değerleri alır ($\cos(\bar{R} d\bar{h}) = 1$). Bu durumda 4.14 denklemi elde edilir.

$$e_E = E_0 \int_{Ra+h}^{Ra-h} \left(\frac{R}{R_0}\right) \cdot \exp\left[-\alpha \left(\frac{R}{R_0}\right)^2\right] e^{-jkR} dR \quad (4.14)$$

Bu integralin hesabı nümerik yöntemlerle elde edilebilir. Fakat kolaylık için emk indüklenmesinde faz değişiminin ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu varsaymış olursak, o halde 4.14 denkleminin çözümünü elde edebiliriz.

$$e_E = E_0 e^{-jkRa} \int_{Ra+h}^{Ra-h} \left(\frac{R}{R_0}\right) \cdot \exp\left[-\alpha \left(\frac{R}{R_0}\right)^2\right] dR \quad (4.15)$$

$$e_E \leq \frac{E_0 R_0}{2a} \left[e^{-a \left(\frac{Ra-h}{R_0}\right)^2} - e^{-a \left(\frac{Ra+h}{R_0}\right)^2} \right] e^{-jkRa} \quad (4.16)$$

Baz istasyonlarında kullanılan antenlerde esasen $h \ll R$ ve $h \ll \lambda$ koşullarının sağlanması her zaman dikkate alınır, bu koşullarda en düklenen emk 4.17 denklemindeki gibi olur.

$$e_E \leq E_0 \left(\frac{Ra}{R_0}\right) \exp(-jkRa) \cdot 2h \quad (4.17)$$

Bu durumda emk'lar arasındaki oran aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{e_E}{e_E} \leq \frac{4ahRa}{Ra^2 \left[e^{-a(Ra-h)^2/R_0} - e^{-a(Ra+h)^2/R_0} \right]} \quad (4.18)$$

Bu durumda ölçüm anteni yada probu ile ölçülmüş elektrik alan şiddetinin ortalama değerine göre hata aşağıdaki gibi olur.

$$\delta_E = \frac{e'_E - e_E}{e_E} \leq \delta_{1E} - \delta_{2E} \quad (4.19)$$

Burada δ_{1E} anten boyu alanının faz değişiminden kaynaklanan hatadır. Denklem 4.12'de integral işleminde kolaylık için anten üzerindeki faz değişiminin çok küçük yada ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu varsaydığımıza göre, bu yaklaşımda $\delta_{1E} = 0$ olur. Bu nedenle esas hata elektrik alanın genliğinin değişiminden kaynaklanan hata olur. Bu hata da δ_{2E} ile gösterilmiştir.

$$\delta_{2E} = 1 - \frac{4ahR_a}{R_a^2 [e^{-a(R_a-h)^2/R_0} - e^{-a(R_a+h)^2/R_0}]} \quad (4.20)$$

Benzer şekilde elektrik alan ölçümünde 4.13 denklemine göre hata değerlendirmesi işlemi yapılabilir. Bu durumda $\cos(\bar{E} d\bar{h}) = 1$ olur.

$$e_E = E_0 \int_{R_a-h}^{R_a+h} e^{-aR} - e^{-jkR} dR \quad (4.21)$$

$$e_E \leq \frac{a-jk}{a^2+k^2} [e^{-(R_a-h)(a+jk)} - e^{-(R_a+h)(a+jk)}] E_0 \quad (4.22)$$

Antende indüklenen emk'nın faz değişimi ihmal edilirse 4.23 denklemi elde edilir.

$$e_E \leq \frac{2E_0}{a} [e^{-jkR_a} e^{-aR_a}] \quad (4.23)$$

Ölçüm anteninde $h \ll R$ ve $h \ll \lambda$ koşullarını sağlandığı düşünüldüğünde ise denklem 4.24 yazılabilir.

$$e'_E = \frac{2E_0}{a} [e^{-jkR_a} e^{-aR_a}] \quad (4.24)$$

Bu durumda ise 4.25'de verilen sonuç elde edilmiş olur.

$$\frac{e'_E}{e_E} = \sin ah \quad (4.24)$$

Elektrik alan ölçümlerinin ortalama değerine göre hata payı ise aşağıdaki gibi olur.

$$\delta_E \leq \delta_{2E} = 1 - \frac{e'_E}{e_E} = 1 - \sin ah \quad (4.25)$$

Denklem 4.25 elektrik alan ölçümlerinde genlik değişimlerinde oluşan ortalama ölçüm hatalarını değerlendirmeye imkan verir. Gerçekte ise 4.21 denklemi kullanılarak antenlerde veya gözlem noktasındaki hem faz hem de genlik değişimlerinden meydana gelen ölçüm hatalarını değerlendirmek mümkündür. Ölçümlerde esasen çevre için etkili olan alan E alanı olduğu için her iki denkleminde kullanılması ilk ölçümler için yeterlidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Muş şehir merkezi ve Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde yüksek frekanslı elektromanyetik alan ölçümleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde yapılan ölçümler neticesinde en yüksek elektromanyetik kirlilik seviyelerinin ölçüldüğü noktalar, dersliklerin bulunduğu alan, rektörlük, üniversite meydanı ve lojmanlardır. Bu noktalarda elde edilen elektromanyetik kirlilik seviyelerinin yüksek olmasının temel sebebi kampüs içerisindeki insan yoğunluğunun genellikle bu bölgede olmasıdır. Ayrıca öğrenci sayılarının az olduğu zamanlarda yapılan ölçümler baz istasyonu tarafından hizmet verilen kullanıcı sayısı az olduğu için daha düşük olmaktadır. Ancak dekanlık ve kütüphanede de insan yoğunluğunun fazla olması bu durumu tam manasıyla açıklamaya yetmemektedir.

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü Diyarbakır-Muş yolunun 7. kilometresine kurulmuştur. Muş şehir merkezi nüfusu 95000 civarındadır. Küçük bir şehir olmasının yanı sıra Diyarbakır yolu genellikle ulaşım kapalı ve dar engebeli bir yol olması sebebiyle şehir yerleşimin olmadığı bir bölgedir. Bu bölgede kurulan Muş Alparslan Üniversitesi 8000 civarında öğrenciye sahiptir.

Kampüs alanı içerisinde tek baz istasyonu bulunmaktadır. Bu yüzden baz istasyonuna göre ölçüm yapılan bölgenin konumu elektromanyetik kirlilik seviyeleri üzerinde etkilidir. Örneğin dekanlık binasının hemen yanında dersliklerin olması ve dersliklerin konumunun baz istasyonu-dekanlık doğrultusunda bulunması bu noktadaki elektromanyetik kirliliği önemli ölçüde etkilemiştir.

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü içerisinde ölçülen en yüksek anlık elektromanyetik alan şiddeti değeri 3.84 V/m ile Hacı Bektaş Veli dersliklerinde ölçülmüştür. En yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değerleri de bu noktada alınmıştır. Bu noktanın baz istasyonuna en yakın ölçüm noktası olması özellikle baz istasyonu yoğunluğunun az olduğu bölgelerde baz istasyonuna olan yakınlığın elektromanyetik kirliliği arttırdığını göstermiştir.

Baz istasyonuna olan yakınlıkları yaklaşık olarak 500 metre olan iki nokta dekanlık ve üniversite meydanında ölçülen maksimum anlık elektrik alan şiddeti değeri sırasıyla 0.31 V/m ve 2.48 V/m'dir. İki noktada benzer konumlarda bulunmasına rağmen üniversite meydanında %800 daha yüksek elektrik alan şiddeti

değeri ölçülmüştür. Burada ortaya çıkan temel sebep ise dekanlık binasının daha alçak bir konumda bulunması ve hemen önünde yükselen derslik binalarıdır. Üniversite meydanı dekanlığın tam aksine tamamen açık konumu ve etrafında herhangi bir bina bulunmaması sebebiyle elektromanyetik dalgaların daha rahat yayıldığı bir alan olmuştur.

1 Nisan 2016 tarihinde ülkemizde 4G kullanımı başlamıştır. Bu tarihten sonra hızla artan aktif 4G kullanım oranı 2017 sene başında %20'yi bulmuştur. 2015 yılı sonuna göre 2016 yılı sonunda mobil internet kullanımı %50 oranında artmıştır ve toplam verinin %65'i 4G teknolojisiyle aktarılmıştır [1]. Toplam aktarılan verinin önemli ölçüde artmasına rağmen 4G öncesinde elde edilen ölçüm sonuçları 4G sonrası elde edilen ölçüm sonuçlarından ilk 4 aylık periyotta %15 oranında daha yüksektir. Yeni hizmete giren 2600MHz frekans bandıyla mobil iletişimde kullanılan frekans değeri yükselmiş buna karşılık elde edilen toplam elektrik alan şiddeti değeri düşmüştür. Ancak ilerleyen zamanda yapılan ölçümlerle zaman içerisinde 4G yatırımlarının artması ve kullanım oranlarının artmasıyla elektrik alan şiddeti değerinin de arttığı tespit edilmiştir. 2017 Haziran ayında yapılan ölçümlerde bir önceki senenin aynı ayına göre %25 daha yüksek elektrik alan şiddeti değeri ölçülmüştür. 2017 Haziran ayında yapılan ölçümlerde büyük ölçüde kampüste öğrenci yoğunluğunun azalmasına rağmen lojman ve derslik noktalarında maksimum ölçüm değerlerine yakın veriler elde edilmesi günden güne elektromanyetik kirliliğin arttığını göstermiştir.

Haftanın tüm günlerinde yapılan ölçümler sonucunda Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde elektromanyetik kirlilik değişiminin haftanın günlerine göre nasıl değiştiği belirlenmiştir. Bazı ölçüm noktaları günlere göre belirgin değişiklikler göstermezken derslikler ve yemekhane gibi noktalar öğrenci ve personelin yoğun olduğu günler olan hafta içi daha yüksek, hafta sonu ise daha düşük ölçüm sonuçları vermiştir. Her ölçüm noktasında en yüksek ölçüm değerleri farklı günlerde elde edilse de toplamda en yüksek elektrik alan şiddetinden düşüğe doğru yapılan sıralama, Perşembe, Çarşamba, Salı, Pazartesi, Cuma, Cumartesi, Pazar şeklindedir. Buna göre en düşük değerler hafta sonu günlerinde daha sonra hafta başında ve sonundaki ilk iş günlerinde, en yüksek değerler ise haftanın ortasındaki günlerde elde edilmiştir. En yüksek ölçüm sonuçlarının alındığı Perşembe günü ölçülen toplam elektrik alan şiddeti en düşük ölçüm sonuçlarının

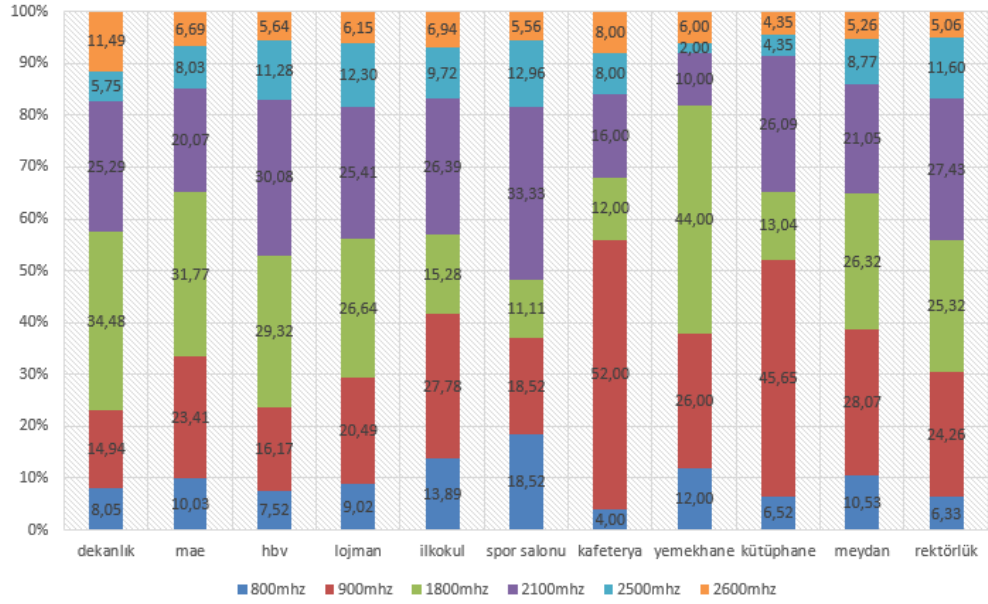
alındığı Pazar günü ölçülen toplam elektrik alan şiddetinden %48 oranında daha fazladır.

Muş şehir merkezinde yapılan 24 saatlik ölçümler neticesinde en yüksek anlık elektrik alan şiddeti değerlerinin öğlen 12:00 civarında elde edilse de ortalama elektrik alan şiddetinin en yüksek olduğu saatler akşam 19:00 civarındadır. Bu saatten sonra sabaha kadar yavaş yavaş azalmaya başlayan elektrik alan şiddeti değeri saat 08:00'dan sonra tekrar artmaktadır. Bu ölçümlerde elde edilen bir diğer sonuç ise gün içerisindeki yoğun kullanım saatlerinde elektrik alan şiddeti değeri büyük değişimler gösterse de kullanımın çok düşük olduğu gece saatlerinde daha sabit değerler almıştır. En büyük değişimlerin olduğu saat olan öğlen saatlerinde zaman zaman anlık değerler %100'e kadar artarken, gece saatlerinde değişimler %15 bandını aşmamaktadır.

Muş şehir merkezinde yapılan dinamik ölçümler neticesinde Muş şehrinin elektromanyetik kirlilik haritası çıkarılmıştır. Ölçülen değerler 0.07-5.2 V/m gibi geniş bir aralığa yayılmıştır. Haritalandırma teknikleri ve Doğal Komşuluk Enterpolasyon yöntemi yardımıyla çizilen harita yardımıyla tüm şehir genelindeki durum açık bir şekilde görülebilmektedir. Şehir genelinde en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri Postane binası yakınlarında ölçülmüştür. Bu noktanın hem şehrin insan yoğunluğu en yüksek noktalarından biri olması hem de Postane binası üzerinde tüm operatörlerin baz istasyonunun bulunması bu durum üzerinde etkilidir.

Muş şehir merkeziyle üniversite kampüsü arasında yapılan dinamik ölçümler neticesinde yol boyunca elektromanyetik kirlilik haritası çıkarılmıştır. Şehir merkezinde ve yol üzerindeki kavşaklarda yüksek elektrik alan şiddeti değerleri ölçülürken üniversite kampüsüne gidildikçe değerlerin azaldığı bu haritalarda görülmektedir. Üniversite civarında ufak birkaç köyden başka yerleşim yerinin olmaması bu durum üzerinde etkilidir.

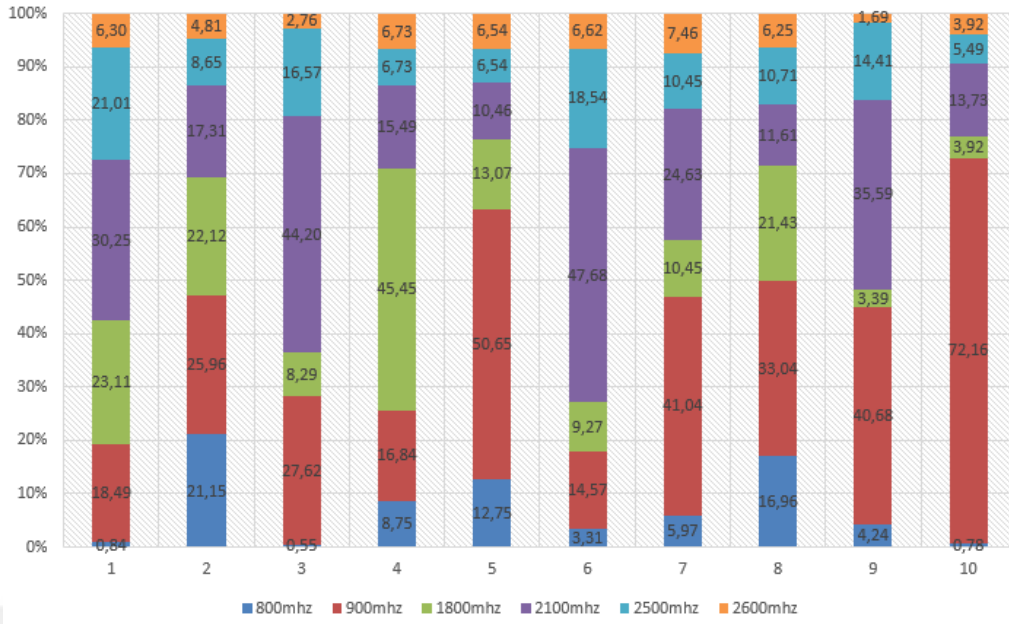
Şekil 5.1'de Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerinin frekans bantlarına göre yüzdelik dağılımları verilmiştir.



Şekil 5.1. Üniversite kampüsünde frekans bantlarına göre elektrik alan değerinin yüzdelik oranları

Tüm ölçümlerde elde edilen sonuçlara göre ise kampüs genelindeki elektromanyetik kirliliğin %9.67'si 800 MHz frekans bandında, %27.02'si 900 MHz frekans bandında, %24.48'i 1800 MHz frekans bandında, %23.73'ü 2100 MHz frekans bandında, %8.61'i 2500 MHz frekans bandında ve %6.46'sı 2600 MHz frekans bandında bulunmaktadır. Yapılan elektromanyetik alan spektrum analizi sonuçlarına göre baz istasyonu yakınındaki ölçüm noktalarında 1800 ve 2100 MHz frekans bantları baskınken uzak noktalarda 900 MHz frekans bandının baskın olduğu görülmektedir.

Şekil 5.2'de Muş şehir merkezinde ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerinin frekans bantlarına göre yüzdelik dağılımları verilmiştir.



Şekil 5.2. Muş şehir merkezinde frekans bantlarına göre elektrik alan değerinin yüzdelik oranları

Tüm ölçümlerde elde edilen sonuçlara göre ise şehir merkezi genelindeki elektromanyetik kirliliğin %7.53'ü 800 MHz frekans bandında, %34.1'i 900 MHz frekans bandında, %16.04'ü 1800 MHz frekans bandında, %25.09'u 2100 MHz frekans bandında, %11.91'i 2500 MHz frekans bandında ve %5.3'ü 2600 MHz frekans bandında bulunmaktadır. Şehir merkezinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre ana caddeler üzerinde açık alanlarda bulunan noktalarda 900 MHz frekans bandının ağırlıkta, daha binalarla çevrili noktalarda ise 1800 MHz ve 2100 MHz frekans bandının etkin olduğu görülmüştür. Ayrıca üniversite kampüsünden farklı olarak 2500 MHz frekans bandının yani Wi-Fi sistemlerinin elektromanyetik kirlilikte daha etkin rol oynadığı görülmektedir. Bu durum şehir merkezinde kablosuz internet yayınlarının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. 900 MHz frekans bandı şehir merkezi genelinde daha baskınken, 1800 MHz frekans bandı üniversite kampüsünde daha baskındır.

Bir baz istasyonu çevresinde farklı iki yönlü ölçümler 90° açı farkı ile yapılmıştır. Ölçüm genelinde %46'lık bir elektrik alan şiddeti farkı tespit edilmiştir. Maksimum elektrik alan şiddeti değeri ise bir yönde 200m'de diğerinde 250m'de elde edilmiştir. Bu durum baz istasyonu üzerinde bulunan yönlendirilmiş antenlerin farklı yönlerde değişik elektrik alan değerleri oluşturabileceğini ve ölçüm noktaları

arasında bulunan yükselti farkı gibi coğrafi etmenlerin ölçümler üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda elektromanyetik kirlilik üzerinde, nüfus yoğunluğu, verici antenlere olan yakınlık, coğrafi şekiller, iletişim trafiği ve hava koşullarının etkisi olduğu saptanmıştır. Bu değişimleri daha net incelemek için anlık ölçümler yapmak hem zaman ve iş gücü kaybına neden olmakta hem de ne kadar sık ölçüm yapılırsa yapılsın tüm zaman aralığını kapsayan ölçümler yapılmasını mümkün kılmamaktadır. Son yıllarda kullanımı yaygınlaşan sürekli ölçüm istasyonları bu durum için ideal çözümdür. Sabit ve dinamik anlık ölçümlerle belirlenen en yüksek elektromanyetik kirliliğin ölçüldüğü noktalara yerleştirilecek olan sürekli ölçüm istasyonları uzun süreli ölçümler olarak bölgedeki durumu daha net bir şekilde ortaya koyabilir. Uzun süreli ölçümlerle elde edilen veriler literatürde sunulan matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle modellenerek başka bölgelerdeki elektromanyetik kirlilik değişimleri önceden tahmin edilebilir. Bu veriler gelecekte kurulacak olan yeni vericilerin planlanmasında kullanılabilir. Sonuçlar kamuoyuyla paylaşarak halk tarafından durumun daha net anlaşılması sağlanabilir.

Ölçümler yapılırken en önemli noktalardan biri de elektromanyetik alanların maruziyet koşullarını belirlemek için kullanılan yakın alan ve uzak alan bölgesi yaklaşımlarıdır. Bu bölgelerde elektromanyetik dalga davranışları oldukça farklı olabildiğinden hangi bölgede ölçüm yapıldığını bilmek önemli bir parametre olacaktır. Tez çalışması içerisinde elektromanyetik dalga yayılım bölgesini belirlemek için bazı pratik yöntemler verilmiştir. Ancak bu bölgeleri net olarak belirlemek oldukça zordur. Yeni nesil haberleşme sistemlerinin kullandığı antenler birçok frekansta (örnek, Kathrein antenleri) aynı anda yayın yapabilmektedir. Bu durum yayılım alan bölgelerini belirlemeyi zorlaştırır da sürekli geliştirilen yeni matematiksel modeller büyük kolaylık sağlamaktadır.

Ölçülen değerler ICNIRP ve BTK tarafından belirlenen limit değerleri aşmamaktadır. Ancak elektromanyetik kirliliğin sürekli artması, sürekli yenilenen iletişim teknolojileri ve limit değerlerin altında da zararlı etkiler tespit eden çalışmalar göz önüne alındığında, yeni nesil iletişim teknolojilerinden de vazgeçemeyeceğimize göre, elektromanyetik kirliliği olabildiğince azaltmak için başta bireyler, daha sonra servis sağlayıcıları ve denetleyici kurumlar üzerine düşen görevi yapmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- [1] BTK Çeyrek Raporu. (2017). https://www.btk.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fPazar_Verileri%2f2016Q4.pdf (on-line Access on 5 May, 2017).
- [2] H. Lai, (2014). *Genetic Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Fields Review*, Bioinitiative Working Group, University of Washington Seattle, WA USA.
- [3] R. Santini, P. Santini, J. M. Danze, et al., *Symptoms experienced by people in the vicinity of base stations: I/incidences of distance and sex*, **Pathol. Biol.** 50 (2002) 369–373.
- [4] A. L. Galeev, *The effects of microwave radiation from mobile telephones on humans and animals*, **Neurosci. Behav. Physiol.** 30 (2000) 187–194.
- [5] J. C. Lin, *Are Radio Frequency or Cell Phone Fields Possibly Carcinogenic to Humans? [Health Effects]*, *Microwave Magazine*, IEEE, 13:4 (2012) 30-32.
- [6] J.C. Lin, *Are Cell Phones or Radio-Frequency Electromagnetic Fields Possibly Carcinogenic to Humans? [Telecommunications Health and Safety]*, *Antennas and Propagation Magazine*, IEEE, 54:1 (2012) 210-212.
- [7] N. Nikolaevich, A. Igorevna, G. Vasil'evich, *Influence of high-frequency electromagnetic radiation at non-thermal intensities on the human body*, A review of work by Russian and Ukrainian researchers. *No Place to Hide*, 3:1 (2001) 1–33.
- [8] A. Trunk, G. Stefanics, N. Zentai, Z. Kovacs-Balint, G. Thuroczy, I. Hernadi, *No effects of a single 3G UMTS Mobile Phone Exposure on Spontaneous EEG activity ERP Correlates and Automatic Deviance Detection*, **Bioelectromagnetics**, 34 (2013) 31-42.
- [9] M. H. Repacholi, A. Lerchl, M. Rösli, Z. Sienkiewicz, A. Auvinen, J. Breckenkamp, et al., *Systematic Review of Wireless Phone Use and Brain Cancer and Other Head Tumors*. **Bioelectromagnetics**, 33 (2012) 187-206.
- [10] C. Haarala, L. Björnberg, M. Ek, M. Laine, et al., *Effects of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function*. **Bioelectromagnetics**, 24:4 (2003) 283-288.
- [11] C. Haarala, L. Björnberg, M. Ek, M. Laine, et al., *The electromagnetic field emitted by 902MHz mobile phone shows no effects on children's cognitive function*. **Bioelectromagnetics Supplement**, 26:7 (2005) 144-150.
- [12] A. Balmori, *Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife.*, **Pathophysiology**, 16 (2009) 191–199.
- [13] T.D. Utteridge, V. Gebiski, J.W. Finnie B. Vernon-Roberts, T.R. Kuchel, *Long term exposure of EM-Pim 1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence*. **Radiat. Res.** 158 (2002) 357-364.
- [14] B. Jitendra, *Biological responses of mobile phone frequency exposure review article*. **Indian Journal of Experimental Biology**. 48 (2010) 959-981.
- [15] M. Blank, R. Goodman, *DNA is a fractal antenna in electromagnetic fields*, **Int J Radiat Biol**, 87:4 (2011) 1–7.
- [16] H. Lai, M.A. Carino, A. Horita, A.W. Guy, *Opioid receptor subtypes that mediate a microwave-induced decrease in central cholinergic activity in the rat*, **Bioelectromagnetics**, 13:3 (1992) 237-246.
- [17] H. Lai, M.A. Carino, *Intracerebroventricular injection of mu- and delta-opiate receptor antagonists block 60 Hz magnetic field-induced decreases in cholinergic*

- activity in the frontal cortex and hippocampus of the rat, **Bioelectromagnetics**, 19:7 (1998) 433-437.
- [18] H. Lai, M.A. Carino, I. Ushijima, *Acute exposure to a 60 Hz magnetic field affects rats' water-maze performance*. **Bioelectromagnetics**, 19:2 (1998) 117-122.
- [19] B.M. Wang, H. Lai, *Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats*. **Bioelectromagnetics**, 21:1 (2000) 52-56.
- [20] S. Lönn, U. Forssen, P. Vecchia, A. Ahlbom, M. Feychting, *Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment*. **Occup. Environmental Medicine**, 61 (2004) 769-772.
- [21] H. Lai, *Biological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field*, *Encyclopaedia of Biomat. Biomed. Eng.*, 10 (2005) 1-8.
- [22] S. Dasdag, M. Tas, M.Z. Akdag, K. Yegin, *Effects of Long-Term Exposure of 2.4GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi Equipment on testes functions*, **Electromagnetic Biology and Medicine**, 1 (2014) 1-6.
- [23] W.R. Adey, *Bioeffects of mobile communications fields: possible mechanisms for cumulative dose*. In: Kuster N, Balzano Q, Lin JC, eds. *Mobile Communications Safety*. New York: Chapman and Hall, (1997) 95-131.
- [24] Gajsek, P., Ravazzani, P., Wiart, J., Grellier, J., Samaras T., Thuróczy, G. *Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz–6GHz)*, **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, (2013) 1-8.
- [25] T. Persson, Ch. Törnevik, L.E. Larsson, J. Lovén, *Output power distributions of terminals in a 3G mobile communication network*, **Bioelectromagnetics**, 33:4 (2012) 320-325.
- [26] Jin, J. (1993). *The Finite Element Method in Electromagnetics*. John Wiley and Sons, New York, USA, 743p.
- [27] N.F. Nielsen, T. Schneider, *Particle Deposition into a Human Head: Influence of Electrostatic and Wind Fields*. **Bioelectromagnetics**, 19 (1998) 246-258.
- [28] D. Poljak, C.A. Brebbia, *Indirect galerkin-bubnov boundary element method for solving integral equations in electromagnetics*. **Engineering Analysis with Boundary Elements**, 28 (2004) 771-777.
- [29] O.P. Gandhi, J.Y. Chen, *Electromagnetic absorption in the human head from experimental 6GHz handheld transceivers*. **IEEE, Trans. Electromang. Compat**, 37: 4 (1995) 547-558.
- [30] M.C Gosselin, A. Christ, S. Kühn, N. Kuster, *Dependence of the Occupational Exposure to Mobile Phone Base Stations on the Properties of the Antenna and the Human Body*, **IEEE, Trans. Electromang. Compat**, 51:2 (2009) 227-235.
- [31] D. Poljak, C.Y. Tham, O.P. Gandhi, A. Sarolic, *Human Equivalent Antenna Model for Transient Electromagnetic Radiation Exposure*, **IEEE, Trans. Electromang. Compat**, 45:1 (2003) 141-145.
- [32] Poljak D. (2007). *EMC advanced modeling in computational electromagnetic compatibility*. John Wiley and Sons, New York, USA, 496p.
- [33] S. Mezoued, B. Nekhou, D. Poljak, K. El Khamlichi Drissi, K. Kerroum, *Human exposure to transient electromagnetic fields using simplified body models*, **Engineering Analysis with Boundary Elements**, 34:1 (2010) 23-29.
- [34] H.Y. Chen, T.Y. Su, J.Y. Jhuang, *Electric field radiation from cellular phone base station antenna*, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium* (2008) 1-4. DOI:10.1109/APS.2008.4619605.
- [35] Haykin, S. (1998). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA, 842p.

- [36] Golden, R.M., (1996). *Mathematical Methods for Neural Network Analysis and Design*. MIT Press Cambridge, MA, USA, 432p.
- [37] I.M. Mujtaba, N. Aziz, M.A. Hussain, *Neural Network Based Modelling and Control in Batch Reactor*, **Chem. Eng. Res. Des.**, 84:8 (2006) 635-644.
- [38] A.R. Khataee, G. Dehghan, M. Zarei, E. Ebadi, M. Pourhassan, *Neural network modeling of biotreatment of triphenylmethane dye solution by a green macroalgae*, **Chem. Eng. Res. Des.**, 89:2 (2011) 172-178.
- [39] I. Atasoy, M. Yuceer, E.O. Ulker, R. Berber, *Neural network based control of the acrylonitrile polymerization process*, **Chem. Eng. Technol**, 30:11 (2007) 1525-1531.
- [40] M. Yuceer, *Artificial neural network models for HFCS isomerization process*, **Neural Comput & Applic.**, 19:7 (2010) 979-986.
- [41] H. Kabir, Y. Cao, Q. Zhang, *Advances of Neural Network Modeling Methods for RF/Microwave Applications*, **ACES Journal**, 25:5 (2010) 423-432.
- [42] Z. Yıldız, M. Yuceer, T. Abbasov, *Comparison of Modeling Approaches for Prediction of Cleaning Efficiency of the Electromagnetic Filtration Process*, **Applied Computational Electromagnetics Society Journal**, 26:11 (2011) 899-906.
- [43] Temel Fizik Bilgileri. (2016). <http://www.fizikbilimi.gen.tr/elektrik-alan/> (on-line Access on 10 Oct, 2016).
- [44] Manyetik Alanlar. (2016). https://tr.wikipedia.org/wiki/Manyetik_alan (on-line Access on 10 Oct, 2016).
- [45] O. Gurdal, *Elektromanyetik Alan Teorisi*, Bursa Orhangazi Üniversitesi Yayınları, Bursa, 2015, 16-323.
- [46] Elektromanyetik Tayf. (2016). <http://www.electrosense.com.tr/genel-bilgiler/elektromanyetik-radyasyon-nedir-> (on-line Access on 10 Oct, 2016).
- [47] Elektromanyetik Dalga Kullanım Alanları. (2016) http://webders.net/elektromanyetik_dalgalar-ders-18-278p2.html (on-line Access on 10 Oct, 2016).
- [48] ICNIRP *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields up to 300 GHz*, **Health Physics**, 74(4) (1998) 494-522.
- [49] D. Savitz, A. Ahlbom, *Epidemiological evidence on cancer in relation to residential and occupational exposure*, Academic Press, New York, 1994, 233-262.
- [50] C.W. Heath, *Electromagnetic Field Exposure and Cancer: A Review of Epidemiological evidence*, **Ca. Cancer J. Clin.**, 46 (1996) 29-44.
- [51] T.S. Tenforde, *Interaction of ELF Magnetic Fields with Living Systems*, CRC Press, Florida, 1994, 185-230.
- [52] N. Chernoff, M.J. Rogers, R. Kavet, *A Review of the Literature on Potential Reproductive and Developmental toxicity of electric and magnetic fields*, **Toxicology**, 74 (1992) 91-126.
- [53] R.L. Brent, D.A. Beckman, C.P. Landel, *Clinical Teratology*, **Curr. Opin. Pediatr.**, 5 (1993) 201-211.
- [54] G.W. Shaw, L.A. Coren, *A Human Adverse Reproductive Outcomes and Electromagnetic Fields Exposures: Review of Epidemiologic Studies*, **Environ. Health Persp.**, 101 (1993) 107-119.
- [55] U. Berqvist, *Pregnancy Outcome and VDU Work- A Review*, Selected Proceedings of the 3rd International Conference WWDO, 1993, 70-76.
- [56] M.L. Lindbohm, M. Hietanen, P. Kyyronen, M. Sallmen, P. Nandelstadh, H. Taskinen, *Magnetic Fields of Video Display Terminals and Spontaneous Abortion*, **Am. J. Epidemiol**, 136 (1992) 1041-1051.

- [57] T.M. Schnorr, B.A. Grajewski, R.W. Hornung, M.J. Thun, G.M. Egeland, *Video Display Terminals and the Risk of Spontaneous Abortion*, **New Eng. J. Med.**, 32 (1991) 727-733.
- [58] M.B. Bracken, K. Belanger, K. Hellenbrand, L. Dlugosz, T.R. Holford, J.E. McSharry, *Exposure to Electromagnetic Fields During Pregnancy with Emphasis on Electrically Heated Beds*, **Epidemiol**, 6 (1995) 263-270.
- [59] World Health Organization, *Extremely Low Frequency Fields*, Environmental Health Criteria, 238 (2007).
- [60] J. Reilly, A. Diamant, *A Spatial Relationship in Electrostimulation: Application to Electromagnetic Field Standards*, **IEEE Trans on Biomed Eng**, 50 (2003) 783-785.
- [61] J.A. Nyenhuis, J.D. Bourland, A.V. Kildishev, D.J. Schaefer, *Health Effects and Safety of Intense Gradient Fields*, CRC Press, Florida, 2001, 31-54.
- [62] R.D. Saunders, J.G. Jeffreys, *Weak Electric Field Interactions in the Central Nervous System*, **Health Phys**, 83 (2002) 341-355.
- [63] P.P.M. So, M.A. Stuchly, J.A. Nyenhuis, *Peripheral Nerve Stimulation by Gradient Switching Fields in Magnetic Resonance Imaging*, **Health Phys**, 83 (2002) 333-340.
- [64] G.J. Rubin, J. Das Munshi, S. Wessely, *Electromagnetic Hyper-sensitivity: A Systematic Review of Provocation Studies*, **Psychosom Med**, 67 (2005) 224-232.
- [65] L. Keifets, A. Ahlbom, C. Johansen, M. Fechting, J. Sahl, D. Savitz, *Extremely Low-Frequency Magnetic Fields and Heart Disease*, **Scand J Work Environ Health**, 33 (2007) 5-12.
- [66] A. Huss, A. Spoerri, M. Egger, M. Roosli, *Residence Near Power Lines and Mortality from Neurodegenerative Diseases: Longitudinal Study of the Swiss Population*, **Am J Epidemiol**, 169 (2009) 172-175.
- [67] A. Ahlbom, N. Day, M. Feychting, E. Roman, J. Skinner, J. Dockerty, M. Linet, *A Pooled Analysis of Magnetic Fields and Childhood Leukaemia*, **Br J Cancer**, 83 (2000) 692-698.
- [68] S. Greenland, A.R. Sheppard, W.T. Kaune, C. Poole, M.A. Kelsh, *A Pooled Analysis of Magnetic Fields, Wire Codes and Childhood Leukemia*, **Epidemiol**, 11 (2000) 624-634.
- [69] *ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields 1Hz-100kHz*, **Health Physics**, 96:6 (2010) 818-836.
- [70] P. Vecchia, R. Matthes, G. Ziegelberger, J. Lin, R. Saunders, A. Swerlow, *Exposure to High Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences*, ICNIRP, 2009.
- [71] D.L. Hayes, P.J. Wang, D.W. Reynolds, N. Estes, J.L. Griffith, R.A. Steffens, *Interference with Cardiac Pacemaker by Cellular Telephones*, **New England Journal of Medicine**, 336 (1997) 1473-1479.
- [72] R.J. Aitken, L.E. Bennetts, D. Sawyer, A.M. Wiklendt, B.V. King, *Impact of Radio Frequency Electromagnetic Radiation on DNA Integrity in the Male Germ Line*, **Int J Androl**, 28 (2005) 171-179.
- [73] I.N. Magras, T.D. Xenos, *RF Radiation-Induced Changes in the Prenatal Development of Mice*, **Bioelectromagnetics**, 18 (1997) 455-461.
- [74] G.A. Mickley, B.L. Cobb, P.A. Mason, S. Farell, *Disruption of a Putative Working Memory Task and Selective Expressions of Brain c-fos Following Microwave-Induced Hyperthermia*, **Physiol Behav**, 55 (1994) 1029-1038.

- [75] T.J. Walters, P.A. Mason, C.J. Sherry, C. Steffen, J.H. Merritt, *No Detectable Bioeffects Following Acute Exposure to High Peak Power Ultra-Wide Band Electromagnetic Radiation in Rats*, **Aviat Space Environ Med**, 66 (1995) 562-567.
- [76] K. Fritze, C. Sommer, G. Mies, K.A. Hossmann, M. Kiessling, C. Wiessner, *Effect of Global System for Mobile Communication Microwave Exposure on Blood-Brain Barrier Permeability in Rat*, **Acta Neuropathol**, 94 (1997) 465-470.
- [77] J.J. Morrissey, S. Raney, E. Heasley, P. Rathina Velu, M. Dauphinee, J.H. Fallon, *Irridium Exposure Increase c-fos Expression in the Mouse Brain Only at the Levels Which Likely Result in Tissue Heating*, **Neuroscience**, 92 (1999) 1539-1546.
- [78] R.B. Stagg, W.J. Thomas, R.A. Jones, W.R. Adey, *DNA Sythesis and Cell Proliferation in C6 Glioma and Primary Glial Cells Exposed to a 836.55 MHz Modulated Radifrequency Field*, **Bioelectromagnetics**, 18 (1997) 230-236.
- [79] J.W. Finnie, P.C. Blumbergs, Z. Cai, J. Manavis, T.R. Kuchel, *Neonatal Mouse Brain Exposure to Mobile Telephony and Effect on Blood-Brain Barrier Permeability*, **Pathology**, 38 (2006) 262-263.
- [80] Edminister, J. (2000). *Elektromanyetik Teori ve Problemler*. Nobel, Ankara, Türkiye, 329p.
- [81] Balanis, C.A. (2005). *Antenna Theory – Analysis and Design*. John Wiley and Sons, New York, USA, 1047p.
- [82] Trzaska, H. (2001). *Electromagnetic Field Measurements in the Near Field*. Noble Publishing Corporation, New York, USA, 230p.
- [83] T. Dlugosz, H. Trzaska, *How to measure in the near field and in the far field*, *Communication and Network*, 2 (2010) 65-68.
- [84] Kamo, B., Miho R., Kolici V., Shurdi O., Lala A., Cala S., Shinko I., *Estimation of Peak Power Density of Electromagnetic Radiation in Near and Far Fields for 2G and 3G Base station in Albania*. BALWOIS, 20121-7.
- [85] Miho, R., Kamo, B., *Estimation Theoretical evalution of the E-M radiation field in the viciniiti of GSM 900 and GSM 1800 antennas*. VNM report for GSM 900 and GSM 1800 DET, FTI Tirana 2008.
- [86] T.K. Sarkar, V. Dyab, M.N. Abdallah, et all. *Electromagnetic Macro Modelling of Propagation in Mobile Wireless Communication Theory and Experimental*. IEEE Antenna and Propagation Magazine, 54:6 (2012) 17-43.
- [87] Jordan, E.C. Balmain, K.G. (1968). *Electromagnetic Waves and Radioting Systems*, Englewood Cliffs, NJ, USA. 753p.
- [88] J. Cooper, B. Marx, J. Buhl, V. Hombach, *Determination of Safety Distance Limits for a Human Near a Cellular Base Station Antenna, Adopting the IEEE Standard or ICNIRPGuidelines*, **Bioelectromagnetics**, 23:6 (2002) 429-443.
- [89] Balanis, C.A. (2005). *Antenna Theory – Analysis and Design*. John Wiley and Sons, New York, USA, 1047p.
- [90] A.T. Adams, Y. Leviatan, K.S. Nordby, *Electromagnetic Near Fields as Functions of Electrical Size*, IEEE Trans. Electromag. Comput. EMC, 25:4 (1983) 428-432.
- [91] S. Miclaus, P. Bechet, *Estimated and Measured Values of The Radiofrequency Radiation Power Density Around Cellular Base Stations*, Rom. **Jorern. Phys**, 52:3-4 (2007) 429-440.
- [92] T. Alanko, Maila Hietanen, P. Nandelstadh, *Occupational Exposure to RF Fields from Base Station Antennas on Rooftops*, **Ann. Telecommun.**, 63 (2008) 125-132.

- [93] O. Uygunol, S.S. Durduran, *Gsm Baz İstasyonlarında Elektromanyetik Kirlilik Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemi (Cbs) Yardımıyla Oluşturulması; Konya Örneği*, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, May 11-15, (2009).
- [94] A. Mousa, *Exposure to Electromagnetic Radiation at the Campus of An Najah University*, 9th Malaysia International Conference on Communications, Kuala Lumpur, Dec 15-17 (2009) pp.154-158.
- [95] Sevinç Düzgün. “*Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Zararlı Etkileri*” Master Thesis, Çukurova University Turkey, 2009.
- [96] Mustafa Cansız, “*Diyarbakır İl Merkezinin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması ve Durum Değerlendirilmesi*” Master Thesis, Dicle University Turkey, 2010.
- [97] Bülent Özgümüş, “*Zonguldak Kent Merkezinin 100kHz-3GHz Frekans Bandında Elektromanyetik Kirliliğinin Araştırılması*” Master Thesis, Zonguldak Karaelmas University Turkey, 2010.
- [98] E. Calabro, S. Magazu, *Monitoring Electromagnetic Field Emitted by High Frequencies Home Utilities*, **J. Electromagnetic Analysis and Applications**, 2 (2010) 571-579.
- [99] Teoman Karadağ. “*Yeni Nesil Haberleşme Sistemlerinin Elektromanyetik Uyumluluk Problemlerinin İncelenmesi ve Modellenmesi*” PhD Thesis, İnönü University Turkey, 2014.
- [100] M. Nahas, M.T. Simsim, *Safety Measurements of Electromagnetic Fields Radiated from Mobile Base Stations in the Western Region of Saudi Arabia*, **Wireless Engineering and Technology**, 2 (2011) 221-229.
- [101] M. Koprivica, N. Neskovic, A. Neskovic, G. Paunovic, *Statistical Analysis of Electromagnetic Radiation Measurements in the Vicinity of GSM/UMTS Base Station Antenna Masts*, **Radiation Protection Dosimetry**, 158 (2013) 263-275.
- [102] Uğur Sorgucu. “*Erciyes Üniversitesi Kampüsünde GSM900 ve GSM1800 Şebekelerinin Oluşturduğu Elektromanyetik Kirliliğin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi*” Master Thesis, Erciyes University Turkey, 2011.
- [103] Abdurrahman Özgür Polat. “*Karaman İli Şehir Merkezi ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesinin Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması*” Master Thesis, Karamanoğlu Mehmetbey University Turkey, 2013.
- [104] A.H. Al-Badi, *Measurement and Analysis of Extremely Low Frequency Electromagnetic Field Exposure in Oman*, **Journal of Electromagnetic Analysis and Applications**, 4 (2012) 333-339.
- [105] J. Estenberg, T. Augustsson, *Extensive Frequency Selective Measurements of Radiofrequency Fields in Outdoor Environments Performed with a Novel Mobile Monitoring System*, **Bioelectromagnetics**, (2013).
- [106] Report on: Measurement of Celular Base Station Emissions Using a Newly Developed RF Field Mapping System. (2016). http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/cell_base_stations/index-eng.php (on-line Access on 21 Nov, 2016).
- [107] Burak Dilek. “*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüs Alanının Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması*” Master Thesis, Recep Tayyip Erdoğan University Turkey, 2014.
- [108] Y. Kırkağaç, T.Güney, F. Çallıalp, *Marmara Üniversitesi’ndeki Öğrencilerin Radyo Frekansı ve Düşük Frekans Elektromanyetik Alan Kaynaklarına Karşı Risk*

Değerlendirmesi ve Yazılım Uygulaması, Emanet 2015 Sempozyumu, Mersin Nov 13-15, (2015).

[109] Mansur Yıldız. “*Measurement of Electromagnetic Radiation Levels of Some Celular Base Stations in Gaziantep*” Gaziantep University Turkey, 2014.

[110] S.S. Rathod, *Investigation of Electromagnetic Radiations in Mumbai*, **IETE Journal of Education**, 55 (2014).

[111] M. Fernandez, A. Luches, V. Bakuli, I. Kokalari, *Recording of the Intensity of the Electric and Magnetic Fields at 50 Hz and of the Electromagnetic Field in the Range 100kHz-3GHz in the City and Province of Gjirocaste, Albania*, **Journal of Environmental Protection**, 5 (2014) 1564-1571.

[112] J. Li, *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*, Australian Government, Australia, 2008, p. 6-31.

[113] M. Martinez-Burdalo, A. Martin, M. Anquiano, R. Villar, *On the safety assessment of human exposure in the proximity of cellular communications base-station antennas at 900, 1800 and 2170 MHz*, **Phys Med Biol**, 7 (2005) 4125-4137.

[114] Mustafa Cansız. “*Diyarbakır il merkezi'nde elektromanyetik alan maruziyet seviyelerinin ölçümü, haritalandırılması ve istatistiksel analizi*” PhD Thesis, İnönü University Turkey, 2016

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Taha ETEM

Doğum Yeri ve Tarihi: ELAZIĞ / 26.09.1990

E-Posta: tahaetem@hotmail.com, t.etem@alparslan.edu.tr

Lisans: Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği
2008 / 2013

Mesleki Deneyim: Muş Alparslan Üniversitesi, Araştırma Görevlisi 2014/-

Yayın Listesi:

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

- 1) T. Etem, T. Abbasov, *Measurements of High Frequency Electromagnetic Waves in Center of Mus*, **IJAMEC**, 4:1 (2016) 95-97.

Proje Görevleri

- 1) Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsünde Elektromanyetik Risk Unsurlarının Belirlenmesi, Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi, Araştırmacı, 10/05/2015 - 27/04/2016.
- 2) Muş Alparslan Üniversitesi Yerleşkelerinde Elektrik ile Çalışan Cihazların Oluşturduğu Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alanın Ölçülmesi ve Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi, Araştırmacı, 09/10/2016 – devam ediyor.
- 3) Muş Bölgesinde ve Çevresinde Elektromanyetik Alan Yayılmasının İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Projesi, 2015- devam ediyor.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- 1) T. Etem, T. Abbasov, *Seçilmiş Bir Bölgede Yeni Nesil İletişim Teknolojilerinin Yaydığı Elektromanyetik Alan Seviyesinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi*, **IDAP**, 2016, 386-389.
- 2) T. Etem, T. Abbasov, *Measurements of High Frequency Electromagnetic Waves in Center of Mus*, **ICAT**, 2016, 731-733.
- 3) T. Etem, T. Abbasov, *Electric field measurements of a base station at 2G and 3G frequencies*, **MEMSTECH**, 2016, 110-113.
- 4) M. Çeçen, Z. Pala, T. Etem, *Elektromanyetik Alanların Bulanık Mantık Yardımıyla Sağlık Üzerine Etki Derecesinin Belirlenmesi*, **ICNASE**, 2016, 341-346.

- 5) T. Etem, Z. Pala, M. Çeçen, *Bir Üniversite Kampüsünde Elektromanyetik Kirliliğin Zaman İçindeki Değişiminin Araştırılması*, ICNASE, 2016, 426-432.
- 6) Z. Pala, T. Etem, M. Çeçen, *Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsünde Elektromanyetik Radyasyon Değerlerinin Ölçülmesi ve Risk Alanlarının Belirlenmesi*, EMANET, 2015.
- 7) T. Etem, T. Abbasov, *Yaşam Alanları İçerisinde GSM Bazlı Elektromanyetik Kirliliğin Gün İçindeki Değişiminin İncelenmesinde Muş Örneği*, Akademik Bilişim, 2016.
- 8) T. Etem, T. Karadağ, T. Abbasov, *Mapping Mobile Phone Based Electromagnetic Pollution in Muş City Centre*, ICAIE, 2017.

