

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

**YENİ NESİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN ELEKTROMANYETİK
UYUMLULUK PROBLEMLERİNİN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ**

TEOMAN KARADAĞ

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

ARALIK 2014

ONUR SÖZÜ

Doktora tezi olarak sunduğum “Yeni Nesil Haberleşme Sistemlerinin Elektromanyetik Uyumluluk Problemlerinin İncelenmesi ve Modellenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynaklar bölümünde yönetime uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla sunarım.

Teoman KARADAĞ

Tezin Başlığı: Yeni nesil haberleşme sistemlerinin elektromanyetik uyumluluk problemlerinin incelenmesi ve modellenmesi

Tezi Hazırlayan: Teoman KARADAĞ

Sınav Tarihi: 19.12.2014

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Nusret TAN

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Hafız ALİSOY

Namık Kemal Üniversitesi

Prof. Dr. Saadettin HERDEM

Selçuk Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet YÜCEER

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Alaattin ESEN

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	6
1.2. Kapsam	8
1.3. Kaynak Özetleri	11
2. KURAMSAL TEMELLER	16
2.1. Yüksek Frekanslı Mobil İletişim Sistemleri	16
2.1.1. 1G Birinci Nesil Mobil İletişim Teknolojisi	16
2.1.2. 2G İkinci Nesil Mobil İletişim Teknolojisi	16
2.1.3. 3G Üçüncü Nesil Mobil İletişim Teknolojisi	17
2.1.4. 4G Dördüncü Nesil Mobil İletişim Teknolojisi	18
2.1.5. 5G Beşinci Nesil Mobil İletişim Teknolojisi	19
2.2. Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası ve Ulusal Maruziyet Limit Standartları	19
2.3. Elektromanyetik Alan ve Dalgaların Temel Denklemleri	22
2.3.1. Maxwell Denklemlerinin Ani Değerlerle ve Kompleks Biçimde Yazılımları	22
2.3.2. Elektromanyetik Dalga Teorisinin Temel Denklemleri	23
2.3.3. Elektromanyetik Dalgaların Radyasyonu ve Yayılması, Elektrik (Hertz) Dipol Anten	24
2.3.4. Elektromanyetik Dalgaların Yayıldığı Yakın, Geçici ve Uzak Bölgeler	27
2.3.4.1. Uzak Bölge veya Dalga Bölgesi	27
2.3.4.2. Yakın Bölge ve Geçici Bölge	27
2.3.5. Anten Parametreleri	29
2.3.6. Yakın ve Uzak Bölge Sınırlarının Belirlenmesi	30
2.3.7. Yakın ve Geçici Bölgelerin Özellikleri ve Bazı Problemleri	33
3. MATERYALLER ve YÖNTEM	40
3.1. Materyaller	40
3.1.1. Elektromanyetik Alanları Sürekli Ölçme ve İzleme Sistemi “MonitEM”	40
3.1.1.1. WPT Mobil İletişim Ölçüm Probu (GSM, UMTS & LTE)	49
3.1.1.2. WPF Geniş Band Ölçüm Probu (100kHz-8GHz)	50
3.1.1.3. WPF50 Geniş Band Ölçüm Probu (10Hz-3kHz)	51
3.1.2. Elektromanyetik Alanları Anlık Ölçüm Cihazı SMP EMF Metre	52
3.1.3. Spektrum Analizatörü Spectran NF-5030 & HF-60100 v.5	53
3.1.4. Elektrik ve Manyetik Alan Analizörü Narda EHP 50D (5Hz-100kHz)	55
3.1.5. Selektif Radyasyon Ölçüm Cihazı Narda SRM-3006	57
3.2. Yöntem	58
3.2.1. Yapay Sinir Ağları (YSA / ANN)	58
3.2.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Çalışmadaki Uygulaması	61
3.2.2. Çok Değişkenli Regresyon (ÇDR / MLRS)	63
3.2.3. Elektromanyetik Alan Uyumluluk Haritaları	64
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	65
4.1. 2010 Yılında BTK Tarafından Malatya Şehrinde Yapılmış Olan Anlık Ölçümler ve Sonuçları	67
4.2. Malatya Şehrinde Bulunan Baz İstasyonlarının Kapsama Alanı Simülasyonu	66
4.3. Malatya Şehir Merkezi ve Yakın Bölgelerinde Yapılmış Olan Anlık Elektromanyetik Alan Ölçümleri ve Sonuçları	70

4.3.1.	2011 Yılında Malatya Şehir Merkezi ve Yakın Bölgelerinde Yapılmış Olan Anlık Elektromanyetik Alan Ölçümleri ve Sonuçları.....	70
4.3.1.1.	100 MHz ve Altı Frekanslarda Yapılmış Olan Anlık Ölçümler ve Sonuçları.....	71
4.3.1.2.	GSM 900 MHz Frekanslarında Yapılmış Olan Anlık Ölçümler ve Sonuçları.....	73
4.3.1.3.	GSM 1800 MHz Frekanslarında Yapılmış Olan Anlık Ölçümler ve Sonuçları.....	74
4.3.1.4.	UMTS 2100 MHz Frekanslarında Yapılmış Olan Anlık Ölçümler ve Sonuçları...75	
4.3.1.5.	100MHz ve Altı, GSM ve UMTS Frekanslarında Yapılmış Olan Anlık Ölçümler ve Sonuçları.....	76
4.3.2.	2013 Yılında Malatya Şehir Merkezi ve Yakın Bölgelerinde Yapılmış Olan Anlık Elektromanyetik Alan Ölçümleri ve Sonuçları.....	77
4.4.	İnönü Üniversitesi Yerleşkesinde Yapılmış Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Anlık Ölçümleri ve Sonuçları	79
4.4.1.	2011 Yılında İnönü Üniversitesi Yerleşkesinde Yapılmış Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Anlık Ölçümleri ve Sonuçları.....	80
4.4.2.	2013 Yılında İnönü Üniversitesi Yerleşkesinde Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Anlık Ölçümleri ve Sonuçları.....	84
4.5.	Turgut Özal Tıp Merkezi'nde Yapılmış Olan Anlık Elektromanyetik Alan Ölçümleri.....	87
4.5.1.	Turgut Özal Tıp Merkezi'nde Yapılmış Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Anlık Ölçümleri ve Sonuçları.....	87
4.5.2.	Turgut Özal Tıp Merkezi'nde Yapılmış Olan Alçak (güç) Frekanslı Elektromanyetik Alanların Anlık Ölçümleri ve Sonuçları.....	97
4.6.	Radyolink İstasyonunda Yapılmış Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Anlık Ölçümleri ve Sonuçları.....	100
4.7.	Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alan Değerlerinin Sürekli Ölçüm Sistemleriyle Ölçülmesi ve İzlenmesi.....	105
4.7.1.	Malatya Şehir Merkezinde Yapılmış Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Sürekli Ölçümleri ve Sonuçları.....	105
4.7.2.	Turgut Özal Tıp Merkezi'nde Yapılmış Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Sürekli Ölçümleri ve Sonuçları.....	110
4.7.3.	Radyolink İstasyonunda Yapılmış Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Sürekli Ölçümleri ve Sonuçları.....	114
4.8.	Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanlara Meteorolojik Değişimlerin Etkisinin İncelenmesi.....	115
4.8.1.	Malatya Şehir Merkezinde Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Sürekli Ölçüm Sonuçlarının Meteorolojik Koşullara Göre Değişimi.....	115
4.8.2.	Radyolink İstasyonunda Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Sürekli Ölçüm Sonuçlarının Meteorolojik Koşullara Göre Değişimi.....	116
4.9.	Baz İstasyonlarının İletişim Trafiğinin (Erlang) Yüksek Frekanslı Elektrik Alanlara Etkisi.....	119
5.	YÜKSEK FREKANSLI ELEKTROMANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİNİN MODELLENMESİ.....	122
5.1.	Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alan Değişiminin Yapay Sinir Ağları (ANN - MLSR) Yönetimiyle Modellenmesi.....	122
5.1.1.	Malatya Şehrinde Yapılan Sürekli Ölçümlerin Modellenmesi.....	122
5.1.2.	Radyolink istasyonunda yapılan sürekli ölçümlerin modellenmesi.....	130
5.2	Baz İstasyonlarının Yayıdıkları Elektromanyetik Alanın İndirgenmiş Karakteristik Empedans Yöntemiyle İncelenmesi.....	132
5.2.1.	İndirgenmiş Karakteristik Empedans Yöntemi.....	132
5.2.2.	Elektriksel (Hertz) Dipol Antenin İndirgenmiş Karakteristik Empedansı.....	133
5.2.3.	Yarım Dalga Dipol Antenin İndirgenmiş Karakteristik Empedansı.....	135
5.2.4.	Baz İstasyonlarının Yayıdıkları Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların İndirgenmiş Karakteristik Empedans Yöntemiyle İncelenmesi.....	138

5.3.	\vec{E} ve \vec{H} Alanlarının, \vec{S} Güç Yoğunluğu Değişimlerinin Belirlenmesi.....	143
5.4.	Baz İstasyonlarının Yaydıkları Elektromanyetik Alanın Yakın ve Uzak Bölgelerdeki Güç Dağılımının Değerlendirilmesi.....	145
5.5.	\vec{E} ve \vec{H} Alanlarının, \vec{S} Güç Yoğunluğu Değişimlerinin Teorik Modellerinin Deneysel Sonuçlarla Kıyaslanması.....	150
6.	SONUÇ ve ÖNERİLER	157
7.	KAYNAKLAR	162
8.	EKLER	170
Ek 1.	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nun, Talep Edilen İletişim Trafik Değerlerinin Temin Edilmesine Yönelik Yazısı.....	170
Ek 2.	Matlab Kodları.....	171
Ek 3.	Turgut Özal Tıp Merkezi Kat Bazlı Elektrik Alan Şiddeti Uyumluluk Haritaları.....	180
ÖZGEÇMİŞ	184

ÖZET

Doktora Tezi

YENİ NESİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK PROBLEMLERİNİN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ

Teoman KARADAĞ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

186 + xiv sayfa

2014

Danışman: Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV

Bu çalışmada metropol bölge olan Malatya (Türkiye) şehir merkezi ve yakın bölgelerinde bulunan baz istasyonlarının ve diğer yüksek frekanslı elektromanyetik alan kaynaklarının yaydıkları alan şiddetinin, uzun süreli ve periyodik ölçüm ve izlenimi yapılmış, sonuçları değerlendirilmiş ve çizilen elektromanyetik uyumluluk haritaları sunulmuştur. Yoğun yaşam ve çalışma bölgeleri olarak radyolink sahası, tıp merkezi ve üniversite yerleşkesinde anlık, periyodik ve sürekli ölçümlerle elektromanyetik alan şiddetinin ve güç yoğunluğunun değişim trendi, en yüksek ve en düşük değerleri belirlenmiş, bölgesel olarak elektromanyetik uyum haritaları çizilmiştir. Ölçüm ve izleme sürecinde bölgedeki baz istasyonu sayısının %60'lık artışıyla; buna bağlı olarak elektromanyetik alan şiddetinin ortalama değerinin %210, en yüksek değerinin ise %200 civarında artmasına sebep olmuştur. Elektromanyetik alan seviyesinin anlık kontrolünün yapılması için Türkiye'de ilk olarak MonitEM sürekli ölçüm ve izleme sistemi uygulanmış ve 200.000.000'dan fazla elektromanyetik alan şiddeti ölçüm sonuçları uluslararası veri merkezinin paylaşım ağına dâhil edilmiştir. ANN ve MLRS yöntemleri kullanılarak ortamın iklim koşullarının (sıcaklık, nem, güneş radyasyonu) ve iletişim trafiğinin (Erlang) değerlerini göz önüne alan elektromanyetik alan şiddetinin tahminine yönelik bir modelleme yapılmıştır. Elde edilmiş ölçüm sonuçlarının şimdilik, uluslararası (ICNIRP) ve ulusal (BTK) elektromanyetik alan güvenlik standartlarına göre limit değerlerin altında olduğu belirlenmiştir. GSM & UMTS baz istasyonları antenlerinin yaydıkları elektromanyetik alanın yakın ve uzak bölgelerdeki değişimlerini ve maruziyetini belirlemek için karakteristik empedans yöntemi teorik modeli geliştirilmiştir. Teorik modelin ve deney sonuçlarının iyi uyum sağladığı gözlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Elektromanyetik Alanlar, Baz İstasyonları, Elektromanyetik Kirlilik, Elektromanyetik Uyumluluk Haritası, Sürekli Ölçüm ve İzleme, YSA, Dalga Empedansı.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

AN EVALUATION AND MODELING OF THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY PROBLEMS OF NEW GENERATION COMMUNICATION SYSTEMS

Teoman KARADAĞ

İnönü University
Graduate School of Natural Applied Sciences
Department of Electrical & Electronic Engineering

186 + xiv page

2014

Supervisor: Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV

This study presents the long-term and periodic measurements of field intensity emitted from the base stations and several other high-frequency electromagnetic field sources located in and around the Malatya (Turkey) metropolitan city centre along with an evaluation of the results of these measurements and the related electromagnetic compatibility maps. To this end, the study concentrates on intensive living and working areas like microwave radio relay areas, medical centre, and university campus by identifying the changing trends of electromagnetic field intensity and power density through instant, periodic, and continuous measurements and by determining the highest and lowest values so as to delineate regional electromagnetic compatibility maps of these areas. The 60% increase in the number of base stations in the region during the monitoring and measuring process has raised the average electromagnetic field intensity value up to 210% while increasing the highest electromagnetic field intensity value to around 200%. In order to carry out instant control of electromagnetic field levels in Turkey, MonitEM continuous measurement and monitoring system was the first system that was put into use; since then, MonitEM has performed more than 200 million electromagnetic field intensity measurements and added these measurements to the networking web of the international data centre. The study presents a modeling to estimate electromagnetic field intensity that considers climate conditions (temperature, humidity, solar radiation) and communication traffic (Erlang) values by using ANN and MLRS methods. It has been observed that the measurement results are below the limit values of international (ICNIRP) and national (BTK) electromagnetic field safety standards for the time being. To determine the electromagnetic field changes and exposure emitted by the GSM and UMTS base station antennas that affect the surrounding regions, either remote or close by, a characteristic impedance method theoretical model has been developed. At the end, theoretical model and experimental results have satisfactorily matched.

KEY WORDS: Electromagnetic Fields, Base Stations, Electromagnetic Pollution, Electromagnetic Compatibility Map, Longterm and Continuous Monitoring, ANN, Wave Impedance.

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmam kapsamında ölçümlerin daha detaylı yapılabilmesi için cihaz desteği sağlayan Wavecontrol şirketine, başta Mr. Laurent DEROUSSEAU olmak üzere tüm şirket çalışanlarına, Türkiye distribütörü Demos Mühendislik şirketine, başta Osman DEMİREL Bey olmak üzere tüm şirket çalışanlarına, saha ölçümlerinde istasyonların montaj ve demontajlarına destek olan Türk Telekom A.Ş çalışanları Abdullah Volkan PAZ, Hacı Bayram TOSUN, Mahmut ŞENDOĞDU, Ahmet KAPLAN, Ömer DEMİRSOY ve Taha Yasin POLAT'a, saha ölçümlerimize eşlik eden, fikir, bilgi ve tecrübeleriyle her zaman destek veren Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Uzmanı Ali Rıza ÖZDEMİR'e, istatistiksel modellemede kullanılan meteorolojik verilerin temin edilmesinde yardımcı olan Meteoroloji Bölge Müdürlüğü Uzmanı Hüsamettin IŞIK'a, birlikte çalışma yaptığımız ve tecrübeleriyle destek olan Yrd. Doç Dr. Tuncay ÖZDEMİR'e, ölçülen anlık elektrik alan şiddeti değerlerinin gerçek harita üzerine çiziminde yardımcı olan Doç Dr. Mustafa KARAKAPLAN'a, Turgut Özal Tıp Merkezi'nde yapılan ölçümlerde bize her konuda yardımcı olan ve çalışmanın her adımında desteğini hissettiren tıp merkezi müdürü Ahmet SÖNMEZ'e, bilgi işlem daire başkanı Emek GÜLDOĞAN'a, AveA bölge sorumlusu Serdar HASDEMİR'e, tez çalışmama değerli bilgi ve tecrübeleriyle değer katan ve her adımda destek veren Doç. Dr. A. Mehmet YÜCEER'e, çalışmalarımıza her zaman, her konuda destek olan İnönü Üniversitesi Rektör Yardımcısı Prof. Dr. İsmail ÖZDEMİR'e, Mühendislik Fakültesi Dekanımız Prof. Dr. Kadim CEYLAN'a, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde hizmet veren eğitim ve öğrenim hayatımda üzerimde emeği olan tüm değerli hocalarıma, zaman mefhumu olmadan, günün her anında bilgisiyle beni aydınlatan, tecrübesiyle bana yol gösteren, büyük bir sabırla bana her konuda destek olan, üzerimde yadsınamaz bir emeği olan çok değerli hocam Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV'a, hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen başta babam Turgut KARADAĞ olmak üzere tüm aile bireylerime, göstermiş olduğu anlayış ve vermiş olduğu destek ile eşim Müge OTLU KARADAĞ'a ayrı ayrı teşekkür eder, sonsuz şükranlarımı sunarım.

2012/28 nolu Araştırma ve 2013/45 nolu Doktora projeleri kapsamında desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

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. Türkiye’de Toplam Üç Aylık Arama Trafik Miktarları, Milyar Dakika.....	3
Şekil 1.4. Türkiye’de 2012 yılından günümüze haberleşme trafik dağılımı.....	4
Şekil 1.5. AB ve Türkiye’de Mobil Abone Başına Ortalama Görüşme, dk/ay.....	4
Şekil 2.1. Elektromanyetik ışınım genel maruziyet seviyesinin ICNIRP standartlarına göre referans değerleri.....	21
Şekil 2.2. Elektrik (Hertz) dipolun prensip şeması ve koordinatlar.....	26
Şekil 2.3. Hertz dipolünün dalga dağılımının kutupsal eğrileri.....	30
Şekil 2.4. L uzunluklu antenin P noktasını içeren yakın bölgesinin geometrisi.....	32
Şekil 2.5. Uzak alan sınırının belirlenmesi için yaklaşım grafiği.....	33
Şekil 2.6. Baz istasyonundan yayılan ışınma.....	34
Şekil 2.7. Elektrik dipolun oluşturduğu elektromanyetik alan bölgeleri.....	36
Şekil 2.8. Elektromanyetik alan kaynağı (anten) etrafındaki yayılma bölgelerinin r, D ve λ parametrelerine göre değişimleri.....	38
Şekil 3.1. Elektromanyetik alan sürekli ölçüm sistemi MonitEM a- MonitEM’in genel görünümü, b- MonitEM’in ölçüm donanımları.....	42
Şekil 3.2. MonitEM’in içyapısı.....	43
Şekil 3.3. MonitEM pc programı.....	44
Şekil 3.4. MonitEM’in genel, bağlantı ve tanımlama ayarlarının yapıldığı bilgi ekranı.....	44
Şekil 3.5. MonitEM sisteminin ölçüm durumundaki genel görünümü.....	45
Şekil 3.6. MonitEM istasyonu ölçüm verilerine ulaşımın sağlandığı web ara yüzü.....	46
Şekil 3.7. MonitEM sistemine bağlı kullanıcı yönetim paneli.....	46
Şekil 3.8. MonitEM yönetici paneli, Reports bölümü.....	47
Şekil 3.9. MonitEM yönetici paneli, Graphs bölümü.....	47
Şekil 3.10. MonitEM yönetici paneli, istenilen periyottaki elektrik alan ölçüm sonuçları.....	48
Şekil 3.11. MonitEM ile ölçülmüş 24 saatlik elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği.....	48
Şekil 3.12. MonitEM’in sahada kullanım örneği.....	50
Şekil 3.13. MonitEM sisteminin genel çalışma prensibi.....	50
Şekil 3.14. GSM,3G& LTE frekanslarında ölçüm alan mobil telefon probunun genel görünümü.....	51
Şekil 3.15. 100kHz-8GHz frekans bandında ölçüm alan geniş band probunun genel görünümü.....	52
Şekil 3.16. 10Hz-3kHz frekans bandında ölçüm alan alçak frekans probunun genel görünümü.....	53
Şekil 3.17. SMP EMF Metre’nin 100kHz-8GHz probu ile genel görünümü.....	55
Şekil 3.18. Spectran NF-5030 HF-60100 v.5’in genel görünümü.....	56
Şekil 3.19. Elektrik ve Manyetik Alan Analizörü Narda EHP 50D’nin genel görünümü.....	58
Şekil 3.20. Selektif Radyasyon Metre Narda SRM-3006.....	59
Şekil 3.21. Temel üç katmanlı Yapay Sinir Ağı (YSA) mimarisi.....	63
Şekil 3.22. Logaritmik sigmoid (<i>logsig</i>), tanjant sigmoid (<i>tansig</i>) ve lineer (<i>purelin</i>) transfer fonksiyonları.....	64
Şekil 3.23. ANN Modelin Şematik Diyagramı.....	65
Şekil 4.1. Malatya şehir merkezinde, 100kHz-2,45GHz frekans aralığında alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası ve izlenen güzergâh.....	67
Şekil 4.2. Malatya şehir merkezinde, 100kHz-2,45GHz frekans aralığında alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 3D elektrik alan uyumluluk haritası ve izlenen güzergâh.....	68

b) GSM & UMTS frekanslarında alınan anlık ölçümlerle çizilmiş 2D uyumluluk haritası.....	93
c) 100kHz-8GHz frekanslarında alınan anlık ölçümlerle çizilmiş 2D contour uyumluluk haritası.....	93
d) GSM & UMTS frekanslarında alınan anlık ölçümlerle çizilmiş 3D contour uyumluluk haritası.....	93
Şekil 4.30. Zemin kat poliklinikler 1. bölgede ki 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan uyumluluk haritası.....	94
Şekil 4.31. Zemin kat poliklinikler 2. bölgedeki 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan uyumluluk haritası.....	95
Şekil 4.32. Zemin kat poliklinikler 3. bölgedeki 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan uyumluluk haritası.....	95
Şekil 4.33. B1 ve B2 katlarında 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülmüş, elektrik alan şiddeti değerleri.....	96
Şekil 4.34. 100kHz-8GHz frekans aralığında Acil Servis içerisinde elektrik alan uyumluluk haritası.....	97
Şekil 4.35. GSM & UMTS frekanslarında Acil Servis içerisinde elektrik alan uyumluluk haritası.....	97
Şekil 4.36. Hastane içerisinde elektrik alan kaynaklarını ve frekans değerlerini belirlemek amacıyla yapılmış olan spektrum analizi.....	98
Şekil 4.37. Hastane içerisinde 100kHz-8GHz, GSM & UMTS, ve 50Hz güç frekansında katlarda ölçülmüş olan en yüksek elektrik ve manyetik alan değerleri.....	100
Şekil 4.38. Şalt sahası yakın bölgesinde, güç frekansında elektromanyetik alan ölçümü.....	101
Şekil 4.39. Turgut Özal Tıp Merkezi'nin yakın bölgesinde, güç frekansında elektromanyetik alan ölçümü.....	102
Şekil 4.40. Şalt sahası, araştırma hastanesi güzergâhında 50Hz elektrik alan değişim grafiği.....	102
Şekil 4.41. Turgut Özal Tıp Merkezi B2 katında trafo bölgesinde düşük (güç) frekansındaki elektromanyetik alan ölçümü.....	103
Şekil 4.42. Turgut Özal Tıp Merkezi B2 katında düşük (güç) frekansındaki elektromanyetik alan ölçümü.....	103
Şekil 4.43. Radyo Link bölgesinde 27MHz-3GHz frekans aralığında ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerleriyle çizilmiş EMCM.....	105
Şekil 4.44. Radyo Link bölgesinde elektrik alan şiddetinin contour uyumluluk haritası.....	106
Şekil 4.45. Radyo Link bölgesinde 27MHz-3GHz frekans aralığında ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerleriyle çizilmiş 3D EMCM.....	106
Şekil 4.46. Radyo Link bölgesinin güç yoğunluğu uyumluluk haritası.....	107
Şekil 4.47. Radyolink bölgesinde güç yoğunluğu değişiminin contour uyumluluk haritası.....	108
Şekil 4.48. Radyolink bölgesinde güç yoğunluğunun üç boyutlu uyumluluk haritası.....	108
Şekil 4.49. Radyo Link bölgesinde 100kHz-8GHz frekans aralığında yapılmış olan spektrum analizi.....	109
Şekil 4.50. Şehir merkezine konumlandırılmış iki MonitEM sürekli elektrik alanları ölçüm ve izleme istasyonu.....	110
Şekil 4.51. 02 - 20 Ocak 2013 periyodunda Malatya şehir merkezinde 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği.....	111
Şekil 4.52. 02 - 20 Ocak 2013 periyodunda, Malatya şehir merkezinde, GSM & UMTS frekans aralığında ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişimi.....	111
Şekil 4.53. 02 - 20 Ocak 2013 tarihleri arasında 100kHz-8GHz ve GSM & UMTS frekanslarında sürekli ölçüm sonuçlarının kıyaslanması.....	112
Şekil 4.54. 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülen 2013 yılı Mayıs ayına ait elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği.....	112
Şekil 4.55. 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülen 2014 yılı Mayıs ayına ait elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği.....	113
Şekil 4.56. Yoğun yaşam alanlarının bulunduğu bölgede 5 haftalık periyotta sürekli olarak ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği.....	114

Şekil 4.57. Turgut Özal Tıp Merkezi 1. katında hastanenin kuzey bölgelerindeki baz istasyonlarının görüş açısında yerleştirilmiş olan istasyonun genel görünümü.....	116
Şekil 4.58. 12.06.2013-27.06.2013 tarihleri arasında Geniş bant(100kHz-8GHz) ve GSM&UMTS sürekli ölçüm istasyonlarının elektrik alan şiddeti ölçüm sonuçları.....	116
Şekil 4.59. TÖTM 1. katında hastanenin batı cephesinde bulunan radyo ve televizyon vericilerinin görüş açısında yerleştirilmiş olan istasyonun genel görünümü.....	117
Şekil 4.60. Turgut Özal Tıp Merkezi çatı katında yer alan baz istasyonlarının ve MonitEM sürekli elektromanyetik alanları izleme istasyonunun genel görünümü.....	118
Şekil 4.61. 08.07.2013-13.07.2013 tarihleri arasında hastanenin çatısında GSM&UMTS frekanslarında alınmış zamanla değişen elektrik alan şiddeti değerleri.....	119
Şekil 4.62. Radyolink istasyonunda beş ay süresince sürekli olarak ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği.....	120
Şekil 4.63. Saatlik ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin zamanla değişim grafiği.....	121
Şekil 4.64. GSM & UMTS frekanslarındaki elektrik alan şiddeti değerinin zamanla değişim grafiği.....	121
Şekil 4.65. 5 aylık ölçüm peridonda radyolink bölgesinde ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti, ortamın sıcaklık ve nem değişimi grafikleri.....	121
Şekil 4.66. Nem - Elektrik alanın şiddeti grafikleri.....	122
Şekil 4.67. Sıcaklık - Elektrik alan şiddeti grafikleri.....	122
Şekil 4.68. Radyo link bölgesinde ölçülen en yüksek ve en düşük elektrik alan seviyelerinin ölçüldüğü günlere ait sıcaklık, nem ve güneş radyasyonunun değişim grafikleri.....	124
Şekil 4.69. 13-29.10.2013 periyodunda, ölçüm yapılan baz istasyonuna ait saatlik bazda gelen talepler.....	124
Şekil 4.70. 13-29.10.2013 periyodunda, ölçüm yapılan baz istasyonuna ait saatlik bazda üretilen iletişim trafiğini içeren grafik.....	125
Şekil 4.71. GSM & UMTS frekans aralığında yarımşar saatlik periyotta ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişimi.....	125
Şekil 4.72. Beş haftalık ölçüm periyodunda iletişim trafiğinin ve elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafikleri.....	126
Şekil 5.1.a. YSA Blok Diyagramı.....	123
Şekil 5.1.b. YSA Katmanları.....	124
Şekil 5.2. YSA modeli girdi katmanı.....	124
Şekil 5.3. YSA modeli girdi katmanı ağırlıkları gösteren blok diyagramı.....	124
Şekil 5.4. Ara katman blok diyagramı.....	125
Şekil 5.5. YSA modeli ara katmanının ağırlıklarını gösteren blok diyagramı.....	126
Şekil 5.6. Çıktı (son) katman blok diyagramı.....	127
Şekil 5.7. YSA modeli çıktı katmanının ağırlıklarını gösteren blok diyagramı.....	127
Şekil 5.8. MLSR test sonuçları, öngörülen elektrik alan şiddetine karşılık ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri.....	128
Şekil 5.9. ANN Eğitim Sonuçları.....	128
Şekil 5.10. ANN Test Sonuçları.....	128
Şekil 5.11. MLSR regresyon sonuçları (Eğitim verileri).....	131
Şekil 5.12. MLSR regresyon sonuçları (Test verileri).....	131
Şekil 5.13. YSA (ANN) regresyon sonuçları (Eğitim sonuçları).....	132
Şekil 5.14. YSA (ANN) regresyon sonuçları (Test sonuçları).....	132
Şekil 5.15. Bağıl empedans katsayısının uzaklığa göre değişimi.....	134
Şekil 5.16. Yarım dalga dipol antenin prensip şeması.....	136
Şekil 5.17. Yarım dalga dipol anten için bağıl empedans katsayısının uzaklığa göre değişimi.....	137
Şekil 5.18. Yakın, geçici ve uzak bölgeler.....	141
Şekil 5.19. Yakın bölge ve uzak bölge yaklaşımı.....	141
Şekil 5.20. Antenin γ açısı altında yerleştirilmesi durumunda parametreler arasındaki ilişki.....	149
Şekil 5.21. KATHREIN antenlerin yaydıkları güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimi.....	151

Şekil 5.22. KATHREIN antenlerin yaydıkları güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimi.....	151
Şekil 5.23. GSM 900 antenin yaydığı elektromanyetik alan güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimi.....	151
Şekil 5.24. KATHREIN K-730370 antenin yaydığı güç yoğunluğu değişimi.....	154
Şekil 5.25. Elektrik alan şiddetinin baz istasyonu anteninden olan uzaklığa göre değişimi.....	155
Şekil 5.26. Manyetik alan şiddetinin baz istasyonu anteninden olan uzaklığa göre değişimi.....	155
Şekil 5.27. KATHREIN türü antenden yayılan E alan değişimleri.....	156

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Dünya genelinde ülkelerin kabul ettikleri limit değerler.....	20
Çizelge 2.2. Farklı frekanslarda BTK tarafından belirlenmiş limit elektrik alan değerleri...	22
Çizelge 2.3. Baz istasyonların antenlerine yakın ve uzak bölge alanları.....	34
Çizelge 2.4. Yakın alan ve Uzak alan bölgelerinde ölçüm kıyaslaması.....	39
Çizelge 2.5. Antenin yaydığı elektromanyetik alanın değerlendirilmesinin modelleri.....	39
Çizelge 3.1. MonitEM ile ölçülmüş 24 saatlik elektrik alan şiddeti değerleri.....	47
Çizelge 3.2. GSM, 3G & LTE frekansların ölçüm alan probun teknik özellikleri.....	50
Çizelge 3.3. 100kHz-8GHz frekans bandında ölçüm alan probun teknik özellikleri.....	51
Çizelge 3.4. 10Hz-3kHz frekans bandında ölçüm alan probun teknik özellikleri.....	52
Çizelge 3.5. SMP EMF Metre'nin teknik özellikleri.....	53
Çizelge 3.6. Spectran HF-60100 v.5'in teknik özellikleri.....	54
Çizelge 3.7. Spectran NF-5030'un teknik özellikleri.....	55
Çizelge 3.8. Elektrik ve Manyetik Alan Analizörü Narda EHP 50D'nin teknik özellikleri.....	56
Çizelge 3.9. Selektif Radyasyon Metre Narda SRM-3006'nın teknik özellikleri.....	58
Çizelge 3.10. Deneysel verilerin istatistiksel değerlendirmesi.....	63
Çizelge 4.1. 2010 yılında Malatya ilinde anlık elektrik alan şiddeti değerlerinin yüzdelik dağılımı.....	66
Çizelge 4.2. 2010 ve 2013 yıllarında Malatya ilinde anlık elektrik alan ölçüm sonuçları...	79
Çizelge 4.3. VHF, VHF-TV, UHF-TV, ISM-433, ISM-868, GSM900MHz, GSM1800MHz, UMTS2100MHz ve Wi-Fi 5,8GHz frekanslarında alınmış en yüksek ve en düşük elektrik alan şiddeti değerleri.....	95
Çizelge 4.4. Radyolink istasyonunda, beş ay süresince, sürekli olarak ölçülen elektrik alan şiddetinin max, min. ve ortalama değerleri.....	115
Çizelge 5.1 24 saat süresince ölçüm değerleri alınan saatlik elektrik alan şiddeti, ölçüm yapılan bölgedeki baz istasyonuna bağlanan abone sayısı, ortamın ortalama sıcaklık ve nem değerleri.....	123
Çizelge 5.2. Regresyon parametreleri.....	123
Çizelge 5.3. Girdi katmanı için ağırlıklar ve bias değerleri.....	125
Çizelge 5.4. Gizli katman için ağırlıklar ve bias değerleri.....	125
Çizelge 5.5. Çıktı katman için ağırlıklar ve bias değerleri.....	127
Çizelge 5.6. ANN ve MLSR eğitim ve doğrulama periyotlarında elde edilen performans indeksleri.....	129
Çizelge 5.7. Ölçüm yapılan bölgedeki 24 saatlik sıcaklık, nem, elektrik alan şiddeti ve değerleri.....	130
Çizelge 5.8. ANN ve MLSR eğitim ve doğrulama periyotlarında elde edilen performans indeksleri.....	131
Çizelge 5.9. Baz istasyonu düzlemsel anteninden olan karakteristik uzaklıklar.....	154

SİMGELER ve KISALTMALAR

KISALTMALAR

1G 1nci Jenerasyon
2D İki Boyutlu
2G 2nci Jenerasyon
3D Üç Boyutlu
3G 3ncü Jenerasyon
4G 4ncü Jenerasyon
5G 5nci Jenerasyon
AM Genlik Modülasyonu
ANN Artificial Neural Network
BT Biyo Teknoloji
BTK Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CDMA Kod Bölmeli Çoklu Erişim
CELENEC Elektroteknik Standardizasyonu için Avrupa Komitesi
ÇDR Çok Değişkenli Regresyon
DECT Avrupa Dijital Kablosuz Telefonu
EDGE GSM Evrimi için Geliştirilmiş Data Hızları
ELF Extremely Low Frequency
EMA Elektromanyetik Alan
EMC Elektromanyetik Uyumluluk
EMCM Elektrik Alan Uyumluluk Haritası
Erlang Telekomünikasyon sisteminde trafik yoğunluğu birimi
ETSI Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
FCC Ulusal İletişim Komisyonu
FDTD Finite Difference Time Domain
FEM Finite Element Methods
FM Frekans Modülasyonu
GPRS Paket Anahtarlama Veri İletimi
GPS Küresel Konumlama Sistemi
GSM Global System for Mobile Communication
HF High Frequency
HF-EMF High Frequency Electromagnetic Fields
HSCSD Yüksek Hızlı Şebeke Anahtarlama Veri
ICNIRP Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu
IKEY İndirgenmiş Karakteristik Empedans Yöntemi
ILO Uluslararası Çalışma Örgütü
IP Internet Protokol
IT Bilgi Teknolojileri
ITU Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
LTE Long Term Evolution
MLSR Multivariate Least Squares Regression
MonitEM Monitoring Electromagnetic
NT Nano Teknoloji
RF Radyo Frekansı
RFR Radyo Frekansı Radyasyonu
RMS Karekök Ortalama
TÖTM Turgut Özal Tıp Merkezi
UMTS Universal Mobile Telecommunication System
URSI Union Radio Scientifique Internationale
Wi-Fi Wireless Fidelity
Wimax Worldwide Interoperability for Microwave Access
YSA Yapay Sinir Ağları

SİMGELER

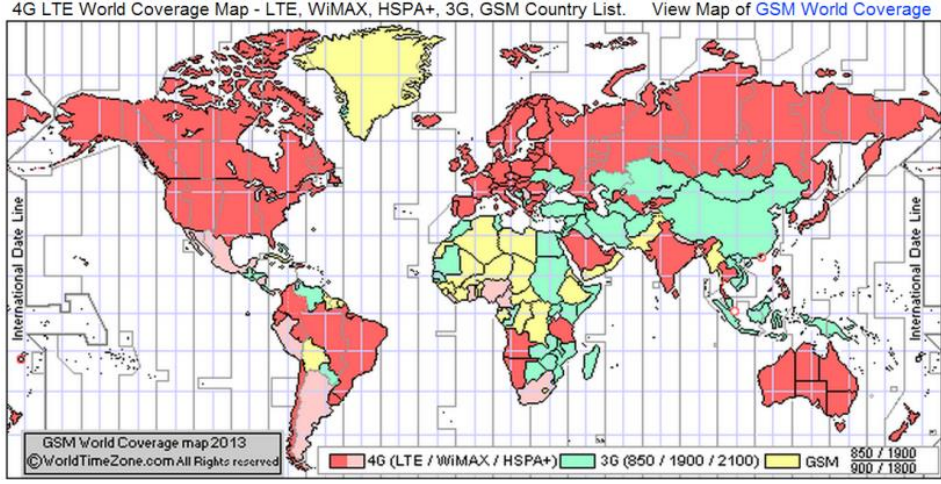
μ_0	Boşluğun Manyetik Geçirgenliği $4\pi \cdot 10^{-7} [H/m]$
μ_r	Bağıl Manyetik Geçirgenlik
ϵ_0	Boşluğun dielektrik geçirgenliği $8.854 \cdot 10^{-12} [F/m]$
ϵ_r	Bağıl dielektrik geçirgenlik
D_A	Antenin Yönlü Kazancı
\vec{E}	Elektrik Alan Şiddeti Vektörü
E_0	Elektromanyetik Alan Genliği
\vec{H}	Manyetik Alan Yoğunluğu Vektörü
P_{in}	Antenin Giriş Gücü
\vec{S}	Güç Yoğunluğu Vektörü
S_0	Elektromanyetik Dalganın Güç Yoğunluğunun Genliği
S_{av}	Elektromanyetik Dalganın Güç Yoğunluğunun Ortalama Değeri
W_{rad}	Dalganın ışıma gücü
Z_0	Boşluğun Dalga Empedansı $=120\pi = 377\Omega$
μ	Manyetik Geçirgenlik
ϵ	Dielektrik Geçirgenlik
E	Elektrik Alan Şiddeti
H	Manyetik Alan Şiddeti
L	Antenin Uzun Kenar Ölçüsü (Boyu)
ℓ	Yarı dalga boyu
R	Küresel Koordinat (antenden olan uzaklık)
Z	Ortamin Dalga Empedansı
β	Dalganın Faz Katsayısı
ξ	İndirgenmiş Dalga Empedansı Katsayısı
G	Anten Kazancı
λ	Dalga Boyu

1. GİRİŞ

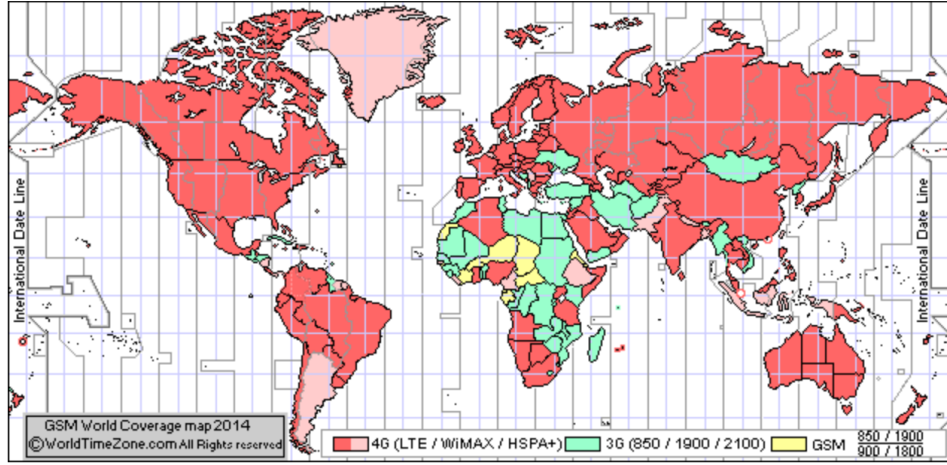
Son yıllarda iletişim sistemlerinin yaygınlaşması ve yeni nesil kablosuz haberleşme cihaz kullanımlarının artmasıyla, elektromanyetik alan radyasyonunun etkisi de dramatik bir şekilde artmaktadır [1-3]. Bu sistemler, basit kurulum ve kablosuz kullanımın getirmiş olduğu mobil avantajlarla oldukça yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu artışın temelinde gerek mobil cihazların ses ve internet haberleşmesinde günlük hayata getirmiş olduğu kullanım kolaylığı, gerekse de yeni nesil şebekelerin sunmuş olduğu farklı hizmetlerin hızlı ve kesintisiz olması yatmaktadır [4]. Dolayısıyla bu hizmetlerin alt yapısını oluşturan baz istasyonlarının sayısı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Birinci nesil (1G) analog ve ikinci nesil (2G) dijital kablosuz iletişim sistemleri geçtiğimiz son on yılda çok hızlı bir gelişim göstererek tüm dünyayı saran üçüncü nesil (3G) ve dördüncü nesil (4G) ağları, kablosuz ses ve veri haberleşmesi ile günlük hayatta önemli bir yer almaktadır.

Dünyada 5. nesil (5G) mobil iletişim sistemleri üzerine çalışmalar devam etmektedir. Ülkemizde ise 2G ve 3G sistemleri aktif olarak kullanılmaktadır [5]. Yeni nesil iletişim sistemleri (3G, 4G) olarak tanımlanan bu sistemler; yapıları, çıkış karakteristikleri, bilgi taşıma imkânlarına ve çalışma frekanslarına göre farklılıklar göstermektedirler. Yüksek frekans (YF) sınıfına ait edilen bu sistemler, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon sınıfına da dâhil edilirler. Bu çalışmanın yapıldığı pilot bölge olan Malatya şehrinde de mobil operatörlere ait (Global System for Mobile Communication) GSM 900MHz & 1800MHz ve (Universal Mobile Telecommunication System) UMTS 2100MHz frekanslarında çalışan 600'ün üzerinde saha ve 1000'in üzerinde baz istasyonu yer almaktadır.

Dünya genelinde hızla gelişen, kullanım sahası olarak genişleyen ve dönüşüm yaşayan bu sistemlerin içinde bulunduğumuz yılda, ülkeler bazındaki dönüşümü aşağıdaki Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'den net bir şekilde görülmektedir. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2 incelendiğinde, içinde bulunduğumuz yılın ilk çeyreğinden, ikinci çeyreğin sonuna kadar dünya nüfusunun en yüksek olduğu Çin'de 3. nesil mobil şebekelerden, ülke bazında 4. nesil mobil şebekelere geçildiği görülmektedir. Çin'le beraber Moğolistan, Özbekistan, Irak, Umman, Cezayir, Endonezya, Papua Yeni Gine, Güney Afrika, Venezüella, Paraguay ve Grönland da 3. nesil sistemlerden, 4. nesil sistemlere yaşanan dönüşüm net bir şekilde görülmektedir.



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



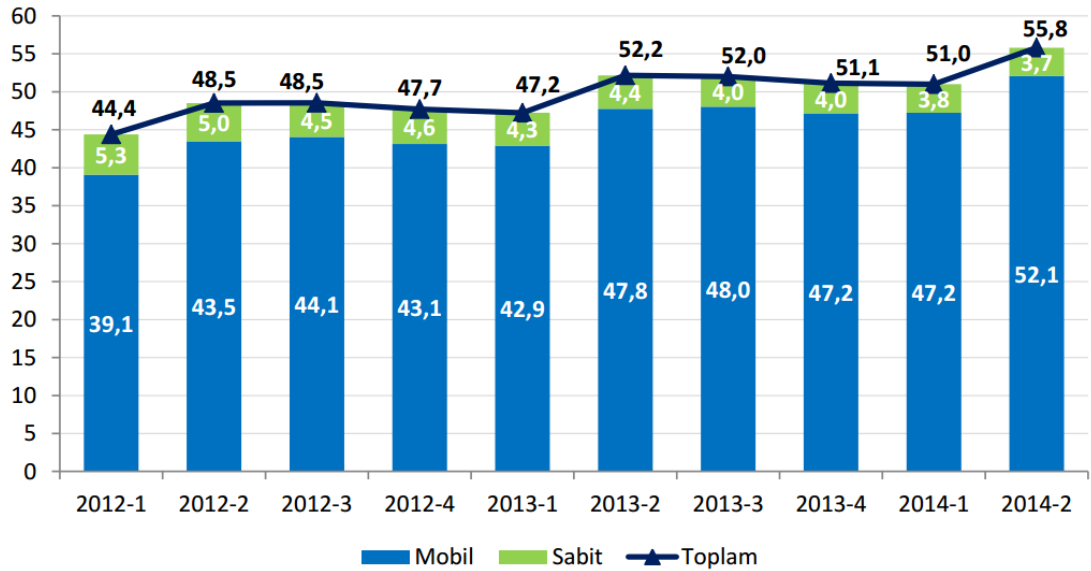
Şekil 1.2. 02 Eylül 2014 tarihi itibarı ile ülkeler bazında dünyada 2G, 3G ve 4G sistemlerinin kullanımı

Ülkemizde haberleşme sektöründe yaşanan değişimler ise Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından üçer aylık periyotlar halinde yayınlanan “Türkiye Elektronik Haberleşme Sektörü Üç Aylık Pazar Verileri Raporu” ile düzenli olarak takip edilmektedir [5]. 2014 yılı 2. çeyrek raporuna göre Türkiye elektronik haberleşme sektöründe sabit ve mobil işletmecilerin oluşturduğu trafiğin yönlere göre dağılımı üçer aylık dönemler halinde kıyaslanmaktadır. Buna göre 2014 yılı ikinci çeyrekte toplam mobil trafik miktarı 52,1 milyar dakika olurken, sabit trafik miktarı ise 3,7 milyar dakika olarak gerçekleşmiştir. Bir önceki üç aylık döneme göre mobil trafik miktarı yaklaşık %10,3 oranında artarken, 2013 yılının aynı dönemi ile kıyaslandığında ise %9,08 oranında arttığı görülmektedir. Sabit trafik miktarı ise yaklaşık %1,6 oranında azalmıştır. Trafik büyük bir kısmını (%88,7) mobilden mobile doğru trafik oluşturmaktadır. Haziran 2014 itibarıyla Turkcell’in Minutes of

Use (MoU) değeri 299 dakika, Vodafone'un 412 dakika ve Avea'nın ise 437 dakika olarak gerçekleşmiştir [5].

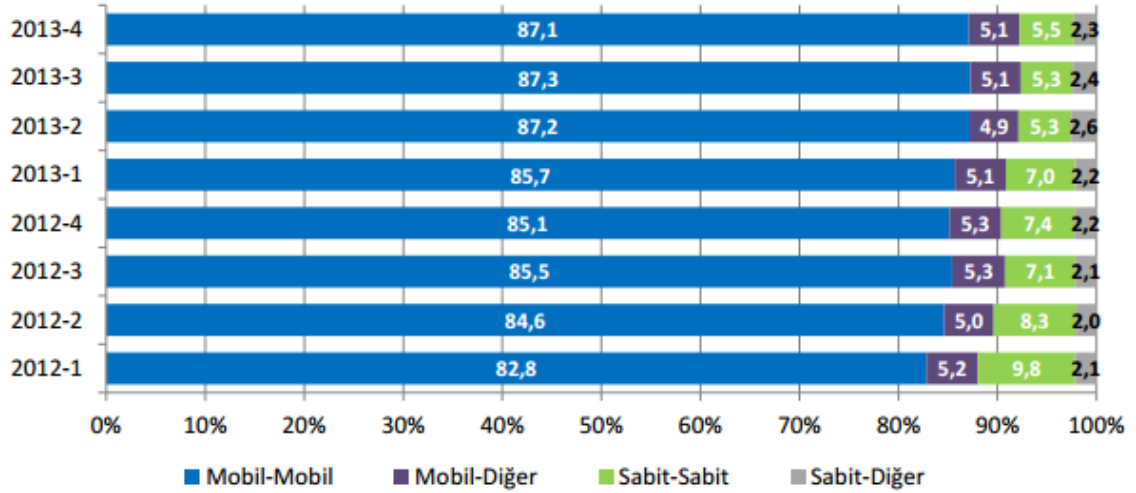
Ülkemizdeki mobil pazar verileri incelendiğinde 2014 yılı haziran ayı itibarıyla Türkiye'de yaklaşık %92,31 penetrasyon oranına karşılık gelen toplam 70.791.075 mobil abone bulunmaktadır. 0-9 yaş nüfus hariç olmak üzere mobil penetrasyon oranı %110'un üzerine çıkmaktadır. 2014 yılı ikinci çeyrekte 3G abone sayısı 53.385.739'a ulaşmıştır.

Şekil 1.3'de 2012 yılı başından itibaren üç aylık dönemler halinde sabit ve mobil toplam trafik miktarları verilmektedir. 2013 yılı ikinci çeyrekte yaklaşık 52,2 milyar dakika olan toplam trafik miktarı, 2014 yılı ikinci çeyrekte yaklaşık 55,8 milyar dakika olarak gerçekleşmiştir.

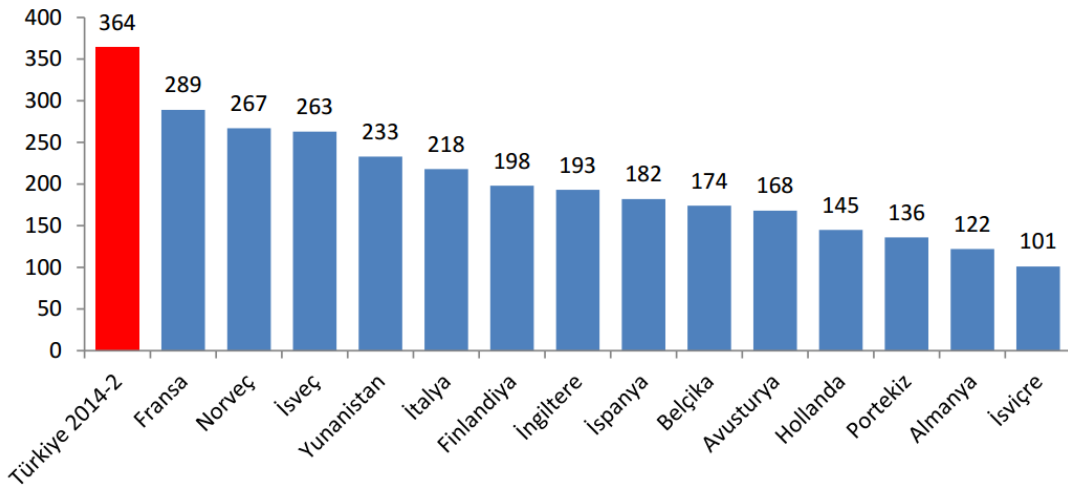


Şekil 1.3. Türkiye'de Toplam Üç Aylık Arama Trafik Miktarları, (Milyar Dakika)

Toplam trafiğin büyük bir kısmını (%88,7) mobil işletmecilerin kendi şebekelerinde gerçekleşen ve aynı zamanda diğer mobil şebekelere doğru yapılan aramalardan oluşan mobilden mobile giden trafik oluşturmaktadır. Bu değişim Şekil 1.4'de net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 1.4. Türkiye’de 2012 yılından günümüze haberleşme trafik dağılımı



Şekil 1.5. AB ve Türkiye’de Mobil Abone Başına Ortalama Görüşme, (dk/ay)

Şekil 1.5’te bazı Avrupa ülkeleri ile Türkiye’deki ortalama mobil telefon kullanım sürelerine yer verilmektedir. 2014 ikinci çeyreğinde 364 dakika olan ortalama aylık mobil kullanım süresi ile Türkiye, yer verilen Avrupa ülkelerine kıyasla en fazla mobil telefonla görüşme yapan ülke olmuştur.

Yeni nesil (3G, 4G, 5G) iletişim ve haberleşme sistemlerinin gelişmesi, bu sistemlerin uygulama alanlarının ve kullanıcı sayısının artışına sebep olmuştur. Bu artışa cevap verebilmek adına baz istasyonlarının sayısının ve kalitesinin de bu hızla artması gerekmektedir ve yakın gelecekte daha da hızlı artması beklenmektedir. Bütün bu artışlar bu sistemlerin yaydıkları elektromanyetik alan ve dalgaların güç yoğunluğunu ve etkisini de artırır. Elektromanyetik uyumluluk olarak da tanımlanan ve iyonlaştırıcı olmayan ışınım sınıfına dâhil edilen bu etki canlılar, biyolojik

ortamlar, çevre ve teknolojik otomasyon sistemleri ve düzenekler üzerinde ciddi sonuçlara ve çoğu kez de hasarlara yol açtığı veya ileride açacağı kanaati oluşturmaktadır [6-11]. Bu yönde yapılan bilimsel çalışmaların çoğu elektromanyetik alanların canlılar ve özellikle de insanlar üzerinde etkisinin kanser hastalıklarına yol açabilme olasılığının incelenmesine odaklanmıştır [12-15]. Bu çalışmaların sonuçlarına göre elektromanyetik alanların insanlar üzerinde kanser ve DNA parçalanması gibi ağır hasarlar oluşturduğunu direkt olarak kanıtlayan bulgular bulunmamasına rağmen baz istasyonlarının insan sağlığını tehlikeye sokan çok sayıda etkiler ve derin depresyon oluşturduğu belirlenmiştir [16]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda bu etkilerin bulunmadığını veya ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu gösteren çalışmaların sayısı da artmaktadır [11,17,18]. Bütün bunlara rağmen elektromanyetik kirliliğin hızla artması, bu dalgaların çalışma frekansının yükseltilerek ($f \gg 2\text{GHz}$) iyonize ışınım frekansına yaklaştırılmasının, telekomünikasyon iletişim ağının radyasyon kuşatmasının yoğunlaştırılmasına neden olduğu açıkça bellidir. Baz istasyonu antenlerinin yaydıkları elektromanyetik alanın yayılmasını belirleyen matematik modellerin de geliştirilmesi gerekir. Klasik elektromanyetik alan teorisi çerçevesinde yeni nesil sistemlerinde kullanılan 3G, UMTS, Wi-Fi, Wimax gibi yeni sistemlerin çalışmasının teorik modelleri yeterince geliştirilmemiştir. Bütün dünyada olduğu gibi, Türkiye’de de büyük şehir merkezlerinde bu problemler ciddi boyutlara ulaşmaktadır [19,20]. Bu problemlerin içerisinde ise en önemli konu, elektromanyetik dağılım seviyelerinin belirlenmesi, değişiminin izlenilebilmesi ve kontrol altında tutulabilmesidir. Bu durumda, elektromanyetik alanın etkisi değerlendirilerek maruziyetinden korunum yöntemleri geliştirilebilir [21-24]. Günümüzde baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların etkisi laboratuvar deneylerinden veya sanayi ortamında yapılan ölçümlerle değerlendirilmektedir. Rutin, periyodik ya da günlük ölçümlerle uygulanan bu yöntem birçok dış ve yerel etkenlerin ölçüm sonuçlarına etkisini değerlendirmeye imkan vermemektedir. Baz istasyonunun çalışma koşullarını, iletişim trafiğini ve çevresel etkileri dikkate almayan bu yöntem; ortama yayılan elektromanyetik dalganın değişiminin kontrolünü yapmak için yeterli değildir. Bu nedenle sayıları hızla artan baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların ölçüm ve denetim yöntemlerinin geliştirilmesi, alan değişiminin istatistik veri tabanlarının düzeltilmesi, bölgelere göre haritalandırılması, ölçüm sonuçlarına göre elektromanyetik alan değişiminin matematik modellerinin oluşturulması ve bu bilgilerin takip ve

kontrolünü sağlayan sistemlerin geliştirilmesi hem teorik hem de pratik uygulamalar bakımından önemli problemler olarak çözümlenmektedir.

2013 yılında büyükşehir statüsü almış ve yarım milyondan fazla nüfusa ulaşmış olan Malatya, hızla gelişen bir metropole dönüşmektedir. Genişleyen yeni yerleşim bölgeleri, çalışma alanları (hastaneler, eğitim ve kamu kurumları) baz istasyonlarının ve elektromanyetik alan yayan birçok diğer kaynakların artmasına neden olur. Bu nedenle yeni yerleşke bölgelerinde, gelişen şehir merkezlerinde ve yakın bölgelerinde elektromanyetik alan kirliliğinin ölçümü, değerlendirilmesi, değişimlerinin sürekli kontrolü ve alan uyumluluğunun haritalanması problemleri her geçen gün daha büyük boyutlarda önem kazanmaktadır.

1.1 Amaç

Yapılan doktora tezinin amacı yeni nesil iletişim sistemlerinin buldukları ortama yaydıkları elektromanyetik alan ölçümlerinin yapılması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, uygulama bölgesinin coğrafi yapısı ve iklim koşulları göz önünde tutularak elektromanyetik alan uyumluluğunun 2D ve 3D haritalarının oluşturulmasıdır. Seçilmiş bölgelerde ilkin ölçümler değerlendirilerek elektromanyetik alan güç yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerin belirlenmesi ve bu belirlenen yerel bölgelerde sürekli alan ölçüm network sistemlerinin kurulması ve ölçümlerin alınmasıdır. Elde edilecek ölçüm sonuçlarının analizi yapılarak daha hassas istatistiksel ve matematiksel modeller oluşturmak ve yeni nesil baz istasyonu antenlerinin yaydıkları elektromanyetik alanın teorik problemlerinin çözümüne katkı sağlamaktır. Bu konuyu incelemek ve değerlendirmek için tez çalışmalarında aşağıdaki esas problemlerin çözülmesi hedeflenmiştir.

1. Sürekli elektromanyetik alan ölçüm ve izleme sisteminin oluşturulması ve sistemin aktif hale getirilerek internet üzerinden uluslararası network bağlantılarının sağlanması.
2. Seçilmiş bölgelerde anlık ve sürekli ölçümlerin yapılması ve bu ölçümlerin birbirini takip eden yılların aynı dönemlerinde tekrar yapılarak yerel noktalardaki elektromanyetik alan şiddeti değişimlerinin değerlendirilmesi.

3. Seçilmiş bölgelerde, ölçüm periyotlarına uygun olarak mevsimsel değişimlerin (ortalama sıcaklık ve nem) seviyesinin, ortamdaki elektromanyetik alanın değerinin değişimine etkisinin değerlendirilmesi.
4. Paralel çalışan iki sürekli elektromanyetik alanları ölçüm ve izleme sistemi kullanılarak, ortamdaki 100kHz-8GHz ve GSM & UMTS frekans bantlarındaki elektromanyetik alan değerlerinin değişimlerinin belirlenmesi ve ölçüm sonuçlarının hata hassasiyetinin değerlendirilmesi.
5. Pilot bölgelerde frekans spektrumuna göre 2D ve 3D elektromanyetik alan uyumluluk haritalarının oluşturulması.
6. Yerel ölçümlerden gidilerek elektrik alan şiddetinin muhtemel olarak en yoğun olduğu bölgelerin tespit edilmesi ve bu bölgelerde sürekli elektromanyetik alan ölçümlerinin yapılması, elektromanyetik alan uyumluluk haritalarının oluşturulması.
7. Yerel ölçüm sonuçlarına göre elektromanyetik alan kirliliğinin yoğun olduğu farklı iki noktada “şehir merkezi ve radyolink istasyonu” sürekli elektromanyetik alan ölçümlerinin yapılması, sonuçların değerlendirilmesi ve haritalanması.
8. Farklı çalışma frekanslarında ve çıkış güçlerinde sistemlerin yoğun olarak yer aldığı radyolink istasyonunda elektromanyetik alan spektrum analizinin yapılması ve sonuçlarının değerlendirilmesi.
9. Seçilmiş bölgelerde baz istasyonları üzerindeki mobil iletişim trafiği (Erlang) değişiminin sürekli elektromanyetik alanları ölçüm ve izleme sisteminden elde edilen verilerle birlikte değerlendirilmesi.
10. Çalışmanın yapılmış olduğu bölgede, iletişim trafiğinin en yoğun olduğu lokasyonda elektromanyetik alan şiddeti değişimi; sürekli ölçüm, haberleşme trafiği ve ortamın sıcaklık ve nem değerleriyle birlikte değerlendirilerek, bu değişimlerin ANN (Yapay Sinir Ağları) ve MLSR (Çok Değişkenli Regresyon) yöntemleriyle istatistiksel modellerin oluşturulması.
11. Yaşam yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerin tespit edilerek (İnönü Üniversitesi yerleşkesi, Turgut Özal Tıp Merkezi binası, Şehir Merkezi) bu bölgelerdeki çeşitli frekans spektrumuna sahip elektromanyetik alan kaynaklarının sürekli ve anlık ölçümlerle değerlendirilmesi, elektromanyetik alan uyumluluk haritalarının oluşturulması.

12. Yeni nesil iletişim sistemlerinin yaydığı elektrik alan şiddetinin değerlendirilmesi için teorik incelemelerin yapılması. Yakın, geçiş ve uzak bölgelerdeki elektromanyetik alan güç yoğunluğu değişimleri hesaplamalarının, indirgenmiş eşdeğer empedans yöntemiyle değerlendirilmesi.
13. Değerlendirmeler ve Sonuçlar.
14. Sürekli ölçüm sistemlerinin kullanılması ve değerlendirmesi bakımından ileriye dönük çalışmaların önerilmesi.
15. Tez çalışmalarından elde edilen sonuçların ulusal ve uluslararası dergilerde, sempozyum ve kongre bildirilerinde yayınlanması.

1.2 Kapsam

Tez, Malatya şehir merkezi ve kırsal bölgelerinde yeni nesil iletişim sistemlerinin, baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların, bölgedeki en yoğun yerleşke ve çalışma merkezi olan İnönü Üniversitesi kampüsü, Turgut Özal Tıp Merkezi (TÖTM) içerisinde ve dışında oluşan alan yoğunluğunun, çeşitli anten ve diğer elektromanyetik alan yayıcı kaynaklarla donatılmış radyolink istasyonunda bu alanların anlık, periyodik ve sürekli ölçümlerinin yapılması, değerlendirilmesi ve uyumluluk haritalarının oluşturulması çalışmalarını içermektedir. Mobil sistemlerin, baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik dalgaların seviyesine dış etkenlerin (nem, sıcaklık) ve çalışma koşullarının (iletişim trafiği) etkisi de dahil edilerek değerlendirilmiş, bu dağılımın istatistiksel modeli oluşturulmuş, dalganın yayılma teorisi geliştirilerek kombine edilmiş baz istasyonları antenlerinin (KATHREIN türü) yaydıkları alanın güç yoğunluğu değişimlerinin matematiksel modeli geliştirilmiştir. Tezin içeriği kısaca olarak kısımlarla aşağıdaki dizinde verilmiştir.

1. kısımda yeni nesil iletişim sistemlerinin hızlı gelişiminin nedenleri ve bu gelişimle beraber bu sistemlerin yaydıkları elektromanyetik alanların etkisinin değerlendirilmesi ve bu etkinin göz önüne alınması probleminin güncelliği sunulmuştur. Kaynak özetleri yapılmış ve tez çalışmasının esas hedefleri belirlenmiştir.

2. kısımda tez konusuna ait kuramsal temeller verilmiştir. Yüksek frekanslı iletişim sistemlerinin farklı nesillerinin (1G, 2G, 3G, 4G ve 5G) esas özelliklerine değinilmiş, avantaj ve dezavantajları sıralanmıştır. Baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların maruziyetini değerlendirmek için ulusal ve uluslararası standartların bazı önerileri sunulmuştur. Elektromanyetik alan ve dalgaların temel denklemleri, elektromanyetik dalgaların yayılmasını belirleyen yakın, geçici ve uzak bölgelerin özellikleri ve elektromanyetik alanın bu bölgelerdeki yayılmasının bazı problemleri kısaca değerlendirilmiştir.

3. kısımda tez çalışmasında kullanılan materyaller ve yöntemler sunulmuştur. Sürekli elektromanyetik alanları ölçme izleme sistemi MonitEM'in, anlık elektromanyetik alanları ölçme sistemi SMP EMF Metre'nin, spektrum analizatörü NF5030 ve HF60100 v5'in, Narda EHP 50D'nin, Narda SRM 3006'nın teknik özellikleri, ölçüm karakteristikleri verilmiştir. İstatistik modelleme yöntemi olarak kullanılan ANN ve MLSR yöntemlerinin özellikleri ve yapılan çalışmalardaki uygulama yerleri verilmiştir. Elektromanyetik alan uyumluluk haritalarının çizilmesinde kullanılan yöntem hakkında detaylı bilgiler paylaşılmıştır.

4. kısımda araştırma ve bulgular sunulmuş, değerlendirmeler yapılmıştır. 2010 yılından itibaren Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde BTK ile birlikte başlayan ilkin anlık ölçümlerden elde edilen elektromanyetik alanın sonuçları verilmiş, takip eden yıllarda aynı dönemler içerisinde yapılan anlık ölçümlerin sonuçları değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre elektromanyetik alanların uyumluluk haritaları çıkarılmıştır.

Oluşturulmuş elektromanyetik alanları sürekli ölçüm sistemiyle (MonitEM) bu bölgelerde ölçümler yapılmış ve sonuçları verilmiştir. Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerindeki yayılan elektromanyetik alanların ortamın iklim koşullarına göre değişimleri, beş haftalık mobil iletişim trafiği (erlang) değerleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ANN ve MLSR yöntemleriyle modellenmiştir. İnönü Üniversitesi yerleşkesinde yapılan anlık ölçümlerin 2011 ve 2013 yıllarındaki ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Turgut Özal Tıp Merkezinin iç ve dış bölgelerinde bulunan elektromanyetik alan kaynaklarının yaydıkları alanların sürekli ve anlık ölçüm sonuçları, elektromanyetik alan uyumluluk haritaları çizilmiş ve değerlendirilmelerin sonuçları sunulmuştur. TÖTM'nin iç ve dış bölgesinde

bulunan alçak frekanslı elektromanyetik alan kaynaklarının yaydıkları dalga seviyelerinin ölçüm sonuçları ve değişim grafikleri verilmiştir. Malatya şehri yakın bölgesinde bulunan ve yüksek elektromanyetik güç yoğunluğuna sahip olan radyolink istasyonunda elektromanyetik alanların seviyelerinin anlık ve beş aylık sürekli ölçüm sonuçları belirlenmiş elektrik alan uyumluluk haritaları çizilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı bütün bölgelerde elektromanyetik alanın frekans spektrumuna göre dağılımları değerlendirilmiştir.

5. kısımda sürekli elektromanyetik alan ölçüm sonuçlarından yararlanılarak, bu sonuçların ANN ve MLSR yöntemleriyle modellenmesi yapılmış ve değerlendirme sonuçları verilmiştir. Yeni nesil baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların, bu antenler etrafında oluşan yakın, geçici ve uzak bölgelerde değerlendirilmesinin teorik problemlerine değinilmiştir. Baz istasyonlarında kullanılan karma tür antenlerin (GSM & UMTS) yaydıkları elektromanyetik alanların güç yoğunluğunun değerinin antenden uzaklaştıkça sürekli değişiminin matematiksel yöntemi verilmiştir. İndirgenmiş dalga empedansı yöntemi geliştirilmiştir, teorik sonuçlar ölçümlerden elde edilmiş ve literatürde sunulmuş sonuçlarla kıyaslanmış ve yöntem/model'in iyi uyum sağladığı tespit edilmiştir.

Sonuçlar ve öneriler kısmında yapılan çalışmadan elde edilen esas sonuçlar sıralanmış, elektromanyetik alanların sürekli ölçüm sisteminin avantajları değerlendirilmiş ve ileriye dönük bu sistemlerin farklı yaşam alanları ve çalışma bölgelerinde yaygın olarak kullanılmasının oluşturabileceği bazı problemlere değinilmiştir.

Tez çalışması sonuçları iki uluslararası indeksli dergide incelemede olup; Ulusal hakemli üç dergide çalışmalar yayınlanmıştır. [25-27]. Yayımlanmış sekiz ulusal ve uluslararası sempozyum ve konferanslarda bildiriler olarak sunulmuştur [28-35] Yapılan ölçümlerin ve değerlendirmelerin sonuçları Turgut Özal Tıp Merkezi'nde ve Türk Telekom A.Ş.'de seminer olarak sunulmuştur ve Verim ve Değişim e-bülteninde yayınlanmıştır [36].

Doktora çalışması İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi (BAPB) tarafından 2012/28 nolu Araştırma Projesi ve 2013/45 nolu Doktora Projesi ile desteklenmiştir.

Doktora çalışması kapsamında, Ek-1'de yer alan talep doğrultusunda Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nda 2011 yılı Ağustos ayında bir ay süre ile ortak çalışma yürütülmüş ve sonrasında ortak çalışmalar devam etmektedir.

Tez çalışması süresince yapılan ölçümleri desteklemek amacıyla Wavecontrol şirketi ve Türkiye distribütörü Demos Mühendislik tarafından ikinci bir sürekli ölçüm istasyonu ve anlık ölçümlerde kullanılmak üzere tüm proplarıyla SMP EMF Metre kullanıma tahsis edilmiştir.

2013 yılı Eylül ayında Wavecontrol firmasında (Barselona, İspanya) tanıtım, bilgi paylaşım, bu ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulama alanının genişletilmesi konusunda görüşmeler yapılmıştır.

Doktora tezi Türkçe ve İngilizce dillerinde özet, teşekkür yazısı, içindekiler, şekil ve çizelgeler dizini, beş ana bölüm, sonuçlar ve öneriler, kaynaklar ve ekleri içeren toplam 186 + xiv sayfadan oluşmaktadır.

1.3 Kaynak Özetleri

Mobil haberleşme sistemlerinin kullanım sürelerindeki artış ve yaşanan hızlı dönüşümle birlikte ultra yüksek frekanslı (UHF) elektromanyetik dalgalar ile çalışan baz istasyonlarının sayısı da bu kullanım hızına paralel olarak artış göstermektedir. Bu artışın sonucu olarak ortamdaki elektromanyetik alan kirliliğinin canlılar üzerindeki etkisi de sürekli olarak gündemde tutulmaktadır [1-27]. Elektromanyetik alanların yayılması, elektromanyetik radyasyon olarak da tanımlanır. İyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyon, dalga veya parçacıklar şeklinde yayılan bir enerjidir. Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmelerle elektromanyetik dalgalar çok sayıda düzenek ve kurgulardan oluşarak bir radyasyon kuşatması haline gelmiştir. Elektromanyetik, elektromanyetik spektrum olarak bilinen frekans ve şiddetine göre sınıflandırılır [37]. 30kHz-300GHz frekans aralığındaki yüksek frekanslı elektromanyetik alana (HF-EMF) maruz kaldıktan sonra yan etkilerin olup olmadığı hükümetler, kamusal kurumlar ve elbette ki bilimsel çalışmalarla ele alınmakta ve değerlendirilmektedir. Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların oluşturduğu esas kirliliğin baz istasyonları ve mobil cihazlardan kaynaklandığı malumdur. Bu sebeple bu tür bilimsel çalışmalar esasen mobil cihazlar ve baz istasyonlarının canlılar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi yönündedir

[38]. Günümüzde elektromanyetik kirliliğin biyolojik sistemler üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla da birçok çalışma yapılmakta ve sonuçlar tartışılmaktadır [39]. Bu tartışmaların büyük çoğunluğu, baz istasyonları ve cep telefonlarının olası kanser edici etkileri üzerinedir. Yapılan kimi epidemiyolojik çalışmalar bazı kanser türleriyle baz istasyonlarının artışı ve cep telefonları kullanımı arasında ilişki kurmayı başarmış olsa [11, 40-43] da aksi sonuçlara ulaşmış çalışmaların sayısı da yeterince fazladır [17,18, 44,45]. Bu yüzden elektromanyetik kirliliğin insan sağlığına etkisi, bu konu üzerinde çalışan bilim adamları tarafından halen tartışılan güncel bir problem olarak ortaya konulmaktadır. Birçok çalışmada da elektromanyetik kirliliğin yaban hayatı üzerine etkisi rapor edilmiştir. Bu alanda en kapsamlı literatür Alfonso Balmori tarafından yapılmıştır [46]. Bu çalışmada elektromanyetik alanların yaban hayatı üzerindeki muhtemel etkileri ve zararları incelenmiştir.

Radyo frekans (RF), son derece düşük frekans (ELF)'lı ve iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik alanların (EMF) genetik etkileri üzerine 2006/2007 yıllarından günümüze kadar yayınlanan bilgileri ve araştırma makale özetleri literatürde sunulmuştur [39]. Çalışmaya statik manyetik alanla ilgili araştırmalar da dâhildir. Yapılmış olan çalışmaların sonuçları analiz edildiğinde EMF'nin sağlık üzerine etkisinin olduğu sonucuna varan çalışmalar, etkinin olmadığını iddia eden çalışmalara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Güncel RF çalışma sonuçlarına göre yapılan 114 genetik çalışmaların, 74'ü (%65) etkinin olduğunu, 40'ı (%35) ise etkinin olmadığı yönündedir.

Güncel ELF-EMF çalışma sonuçlarına göre ise yapılan 59 genetik çalışmanın 49'u (%82) etkinin olduğu, 10'u ise (%18) etkinin olmadığı yönündedir.

Radyo Frekanslı Radyasyonu (RFR) ve Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alan (ELF-EMF)'ların Genotoksik etkileri üzerine 2007-2014 yılları arasında yapılan 173 çalışma detaylı olarak ele alınmıştır [39].

Bu çalışmaların sonuçları özetlendiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir. RF ve ELF EMF etkileri oldukça benzerdir. Bu durum oldukça şaşırtıcıdır çünkü bu elektromanyetik alanlar tarafından taşınan enerjiler birbirlerinden milyarlarca kat farklıdır. Benzer genetik etkiler, farklı çalışmalarla birlikte özellikle Blank ve Goodman tarafından güncel çalışmalarla ele alınmıştır [47-49]. Bununla birlikte RF

ve ELF alanların benzer etkiler gösterdiği diğer fizyolojik süreçler örneğin; nörokimyasal ve davranışsal etkileri içeren çalışmalar da bildirilmiştir [50-53].

Böylece biyolojik dokuların, frekanstan bağımsız olarak elektromanyetik alanlarla temel bir etkileşim mekanizması olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat bu etkileşimin kinetiği, etki mekanizması, etkileşme süresi ve seviyesi hakkında netleşmiş genel bir kanı oluşmamıştır. Yukarıda adı geçen ve literatürde sunulan birçok benzer sonuçların incelenmesi elektromanyetik alanların hem canlılar, hem de ortam üzerindeki uzun süreli etkilerinin değerlendirilmesinde, sürekli ölçümün bulunmadığını veya yetersiz olduğunu göstermektedir.

Bu nedenle sunulan veriler ve sonuçlarda ciddi fikir ayrılıkları vardır. Bu fikir ayrılıklarının esas nedeni elektromanyetik radyasyonun canlılar üzerindeki etkilerinin uzun süreli ölçümlerin yapılmaması ve kontrol yöntemlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Mobil iletişim sistemleri çok sayıda ve farklı güçlere sahip olan baz istasyonları gerektirmektedir. Öte yandan bu istasyonlar coğrafi anlamda farklı hücre dağılımına sahiptirler [8]. Farklı güç yoğunluğu dağılımı ve frekanslarında çalışan bu sistemler yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgelerde, hücre yapıları ile kullanıcılara (data ve ses) haberleşme akışını daha hızlı ve sürekli sağlamayı amaçlamaktadır. Bunun için artan güçte ve sayıda, daha yüksek frekanslarda çalışan istasyonlara gereksinim duyulmaktadır. Bu artış kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanmasına paralel olarak süreklilik göstermektedir. Her geçen gün yeni nesil kablosuz haberleşme teknolojileri ile dönüşüm yaşanan dünyada, elektromanyetik uyumluluk düzeyleri de bu dönüşüm hızına paralel değişim göstermektedir. Özellikle büyük şehirlerde iletişim trafiği zamana ve yerleşim yerine bağlı, stokastik olarak değişmektedir. Bu değişimden ötürü elektromanyetik uyumluluk düzeylerini tespit etmek ve izlemek zordur, bunun tespiti için sonlu, az sayıda ölçümler ile bu sistemlerin yaydıkları elektromanyetik kirliliğin belirlenmesi ve kontrolü kolay değildir. Yapılan anlık ölçümlerin yanı sıra uzun süreli ölçümlerin yapılması, elektromanyetik kirliliğin devamlı bir şekilde izlenmesi, seviyelerinin belirlenmesi ve ortam parametrelerine göre değişimlerinin gözlemlenmesi büyük önem arz etmektedir. Başka bir deyişle elektromanyetik kirliliğin ortam ve canlılar üzerindeki etkisinin anlık ölçüm sonuçlarına göre değerlendirilmesi her zaman doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu nedenle yaşam

alanlarında ölçülmüş elektromanyetik dağılım seviyesi değişimlerinin ve etkilerinin, anlık ve sonlu sayıda ölçümlerle değil; uzun süreli ölçümlerle yapılması ve elde edilen sonuçların literatürde sunulmuş benzer verilerle birlikte değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik dalgaların ortamdaki dağılımı birçok parametreye bağlıdır. Örneğin bir şehir için günün farklı saatlerinde, şehrin farklı bölgelerinde değişim gösteren iletişim trafiği, elektromanyetik dalganın ortamda ilerlemesini etkileyen ortamın sıcaklık ve nem değerleri bu tür parametrelere dâhil edilebilir. Bu parametrelerin değişimleri göz önüne alındığında ancak sürekli ölçümlerle ortamdaki elektromanyetik dalganın dağılımı daha az hata ile değerlendirilebilir. Bunlara ek olarak bazı canlıların fiziksel özelliğine, sağlık durumuna bağlı olarak düşük seviyeli, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar da ciddi rahatsızlıklar oluşturabilir [54]. Yapılmış olan birçok araştırmalarda da mikrodalga boyutlu radyasyonların canlıların farklı organlarına etkilerinin yakın mesafelerde daha etkin oldukları gözlenmiştir [6, 40, 55]. Başka bir deyişle yeni nesil 3G ve 4G baz istasyonlarının çıkış güçlerinin bir önceki nesillere göre düşük olmasına rağmen, kullanıcı bazlı kullanım süresinin daha uzun olması bu dalgaların canlılar üzerinde birikim etkisinin artmasına neden olur [55-57]. Buna göre mobil haberleşme sistemlerinin kullanımı anlık olarak değişim gösterdiğinden bu etkilerin ölçülebilmesi ve değişimlerin gözlenebilmesi için elektromanyetik alanların canlılar ve ortam üzerindeki etkilerinin periyodik ölçümlerle değil ancak sürekli ölçüm yöntemi ile değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir [56,58,60]. Literatürde elektromanyetik alan ve dalgaların yayılımının ve canlılar üzerindeki etkisinin birçok matematik modelleri de yer almaktadır. Bu amaçla Finite Element Methods (FEM) Sınır Elementleri Yöntemi (BEM) ve Finite-Difference Time-Domain (FDTD) yöntemleriyle modellemeler sonucunda elektromanyetik alanın farklı ortamlardaki değerleri elde edilmiştir [61-63]. Birçok durumda farklı integral ve diferansiyel yöntemler de kullanılarak canlılar ve biyolojik ortamların elektromanyetik alana maruziyetleri değerlendirilmiştir [64-69]. Bütün bu hesaplama yöntemleri, farklı parametreler içermekte ve yaklaşık yöntemler olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda elektromanyetik dalgaların yayılmasının fiziksel özelliklerinden ziyade; elektromanyetik kirliliğin istatistik yöntemlerle de değerlendirilmesi literatürde yer

almaktadır [58]. Bu amaçla benzer problemlerin çözümünde etkin modelleme yöntemlerinden ANN ve MLSR daha yaygın olarak kullanılmaktadır [70-77].

İletişim sistemlerinde kullanılan 30KHz-300GHz frekanslarına kadar değişen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların etkileri yoğun yaşam alanlarında daha ciddi boyutlarda gündeme gelmektedir. Yoğun yaşam ve çalışma ortamları da esasen şehir merkezi ve yakın bölgeleri, tıp merkezleri, üniversite kampüsleri ve büyük ticaret merkezleridir [25-27]. Bu nedenle yüksek frekanslı elektromanyetik alanların bu tür ortamlardaki değerlerinin ölçülmesi, değerlendirilmesi ve muhtemel etkilerinin göz önüne alınması gerekmektedir. Artan elektromanyetik kirliliğin farklı ortamlarda değişim hızının belirlenmesi, şehir merkezi ve yakın bölgelerinin detaylı elektromanyetik kirlilik haritalarının oluşturulması, belirtilen bölgelerde sürekli elektromanyetik kirlilik seviye ölçümlerinin yapılması ve sonuçların gerekirse internet ortamında kamuoyu ile paylaşılmasında yarar vardır.

Bu nedenle tez çalışmasının esas hedefi baz istasyonlarının yaydıkları yüksek frekanslı elektromanyetik alanların sürekli ölçümlerini sağlayabilecek sistemlerin oluşturulması, ölçümlerin yapılması ve elde edilen sonuçların istatistiksel yöntemlerle modellenmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Yüksek Frekanslı İletişim Sistemleri

2.1.1 1G Birinci nesil mobil iletişim teknolojisi

1G telefon teknolojilerinin ilk nesillerinin kısaltmasıdır. Bunlar 1980 yıllarında ortaya çıkan, 2G sayısal telefonlar çıkıncaya kadar kullanılan analog tabanlı telefon teknolojileridir. 1G ve 2G mobil telefon sistemleri arasındaki en temel fark 1G şebekelerinin analog, 2G şebekelerinin ise sayısal radyo sinyalleri kullanmasıdır. Bununla birlikte 1G ve 2G şebekelerinin her ikisinde de cep telefonları baz istasyonları ile sayısal olarak haberleşmektedir.

2.1.2 2G İkinci nesil mobil iletişim teknolojisi

2G ikinci nesil mobil telefon teknolojisidir. 1G teknolojisine benzer olarak hücresel bir ağ sistemi kullanır. 2G ile 1G arasındaki en büyük fark analog veri yerine sayısal veri kullanılmaya başlanmış olmasıdır. 2G'nin sağlamış olduğu en büyük yenilik olan sayısal teknoloji, birçok yeniliği de beraberinde getirmiştir. Bu avantajlar; daha yüksek ses kalitesi, daha büyük kapasite, sesi ve verileri şifreleme imkânı, kısa veri iletimi (kısa mesaj, hücre bilgisi, v.b.) olarak sıralanabilir.

İlk olarak 850-900MHz bandını kullanmak üzere tasarlanan GSM, kullanıcı sayısının artmasıyla birlikte 1800-1900MHz bandına taşınmıştır, ülkemizde ise genelde GSM1800 olarak adlandırılır. İnternet'in yaygınlaşması sonucu GSM'in sunduğu 9.6 kbps veri taşıma kapasitesi yetersiz olmaya başlamıştır. Buna cevap olarak: HSCSD standardı çıkartılmış ve 43.2 kbps'ye kadar veri iletişimi yapabilmektedir. Son olarak, GPRS'in hızını artırmak için GSM modülasyon tipi değiştirilerek EDGE teknolojisi oluşturulmuştur. EDGE ile pratikte 380 kbps hızında veri transferi mümkündür.

Özellikle Avrupa'da yaygınlaşmaya başlayan 3G teknolojisi, daha da yüksek bir bant kullanmasından dolayı (2100 MHz) kapsama alanı sorunları yaşamaktadır. 1800MHz GSM standardı ile ortaya çıkan ve 3G teknolojisinde de daha da belirgin olan kapsama alanı sorununu çözmek için 4G teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır.

2.1.3 3G Üçüncü nesil mobil iletişim teknolojisi

3G mobil iletişim teknolojisine yönelik standartlar, ITU (International Telecommunication Union - Uluslararası Telekomünikasyon Birliği) tarafından geliştirilmekte olup, bu standartlardaki sistemlerin çalışacağı öngörülen 2000MHz civarındaki frekans bölgesinde çalışmaktadır. 3G sistemler, 2G sistemlere nazaran bir çok avantaja sahiptirler. Bu avantajlar; hızlı erişim, paket anahtarlama ve isteğe bağlı hız, mesajlaşma, internet erişimi ve yüksek hızda çoklu ortam haberleşme desteği, gelişmiş hizmet kalitesi, konumlandırma hizmetlerinin sağlanması, bütün katma değerli ses hizmetlerinin sağlanabilmesi, işletim ve bakım kolaylığı, mevcut şebekelerle birlikte çalışabilirlik, 2G'ye dolaşım sağlayabilme, mevcut şebekelere geriye doğru uyum sağlayabilme, düşük kurulum maliyeti olarak sıralanabilir.

3G teknolojisi ile kullanıcıya hareket halinde iken sesin yanı sıra veri, resim, grafik ve benzeri bilgilerin 2-8-20 Mbit/s hıza varan yüksek hızlarda, başka bir deyişle geniş bantta internet hizmeti sunulmaktadır. 3G, üçüncü nesil kablosuz telefon teknolojisidir. Aynı 1G ve 2G gibi, hücreli bir ağ sistemi kullanır. 3G'ye aynı zamanda Universal Mobile Telecommunications System (Evrensel Mobil İletişim Sistemi) anlamına gelen UMTS de denir. Hatta Japonya'da Freedom of Mobile Multimedia Access (Mobil Çoklu Ortam Erişimine Özgürlük) anlamına gelen FOMA ismi de kullanılır. 3G'nin 2G'ye göre getirmiş olduğu en büyük yenilik taban olarak alınan verinin ses değil sayısal veri olmasıdır. Buna ek olarak, 3G sisteminde cihazlar bant genişliğini sadece veri alışverişi sırasında işgal ederler. İlk örnekleri Japonya'da 1998 yılında kullanıma açılan bu teknoloji, 2003'ten itibaren Avrupa'ya da gelmiştir. UMTS, Avrupa Komisyonu kararıyla ETSI (European Telecommunications and Standards Institute) tarafından ve IMT-2000 çatısı altında geliştirilen bir üçüncü nesil (3G) gezgin iletişim sistemidir. Avrupa'yı üçüncü nesil gezgin iletişim sistemlerinin gelişmesinde öncü olmaya iten en önemli etken ikinci nesil (2G) gezgin iletişim sistemlerinin (GSM ve DECT gibi) başarısıdır. UMTS, geniş band çoklu ortam servislerinin kullanımına olanak sağlayan yüksek veri hızlarını desteklemektedir.

2.1.4 4G Dördüncü nesil mobil iletişim teknolojisi

Benzer GSM standartları gibi hücreli bir ağ sistemi kullanmakla birlikte üçüncü nesil şebekelerde baş gösteren kapsama alanı ve benzer problemler karşısında daha verimli bir teknolojidir. 3G ve 4G'nin en büyük özelliği, mevcut şebekelerle mümkün olmayan hızlı görüntü transferini mümkün kılmasıdır. 4G kablosuz ağların, hava ara yüzünde 20 Mbit/s ile 100 Mbit/s arasında veri iletim oranını desteklemesi beklenmektedir. 4G sistemler, ileri gelişmiş ileri mobil iletişim sistemleri olup aşağıdaki başlıca avantajlara sahiptirler.

- 1 DVD'yi 30 saniyede kablosuz ağdan gönderebilme.
- Sabit mekânlarda 1 Gbit/s, hareket halindeyse 100 Mbit/s düzeyinde veri aktarım hızı.
- 1 Gbit/s'lik hızla, 100 MP3 dosyasını (yaklaşık 300 MB) 2,4 saniyede aktarabilme.
- Bir film CD'sini (800 MB) 5,6 saniyede aktarabilme.
- 20 dakikalık bir HDTV yayını 12,5 saniyede aktarabilme.
- Handover teknolojisi; Bu teknoloji, 100 Mbps'lik süper hızlı mobil iletişimi, saatte 60 km hızla giden bir araç içerisinde dahi kesintisiz iletişimin sağlanması.
- Mobil iletişim teknolojisinin gelecek kuşağı olan 4G; kablolu ve kablosuz iletişim ve yayın teknolojilerini bütünleştirerek yüksek kapasiteli, veri hizmetleri, sanal gerçeklik ve biyometrik tanımlama gibi bilgi teknolojileri (IT), biyo teknoloji (BT) ve nano teknolojiyi (NT) birleştiren ve 3G döneminde mümkün olmayan çok çeşitli hizmetlerin gerçekleşmesine olanak tanımaktadır.
- 4G teknolojisi ile insanlar çok kanallı yüksek çözünürlüklü TV yayınlarını izleyebilecekler ve cep telefonları vasıtası ile evlerindeki aletleri kontrol edebileceklerdir.
- En ücra yerleşimlerde bile geniş bant internet hizmetinin sağlanabilmesi, 5 Temmuz 2013 itibari ile dünyanın en yüksek zirvesi Everest tepesinde 4G hizmeti verilmektedir.
- Dördüncü nesil (4G) teknolojisi, 2G ve 3G uygulamalarından sonra altyapı ve terminallerin aynı standarda sahip olmasını sağlayacaktır.

- IP (internet) tabanlı sistem sayesinde ‘şebeke meşgul’ alarmı büyük ölçüde azalacaktır.
- IP (internet) tabanlı sistem, etkin maliyet kontrolü, esneklik, internet üzerinden yeni servisler ve servis kalitesi sağlayacaktır.

2.1.5 5G Beşinci nesil mobil iletişim teknolojisi

Güney Kore menşeli bir telekomünikasyon şirketi, 12 Mayıs 2013 tarihinde, 64 sektörel anten ile, 28GHz çalışma frekansında, 2 kilometre mesafeye, saniyede 1Gbit veri aktarabilecek ultra hızlı geniş bant kablosuz iletişim teknolojisi üzerinde çalıştıklarını duyurmuşlardır. Çalışmanın 2020 yılında tamamlanmasının öngörüldüğü belirtilmektedir. 5G mobil iletişim teknolojisi mevcut 4G Long Term Evolution (UMTS) şebeke teknolojisinin bir sonraki neslidir. Baz istasyonu başına Gbps’a varan veri iletim hızları sunmayı öngörmektedir. Yüksek hızlı bir 5G hücreli şebekenin uygulanması, artan bir trafikte daha fazla yola ihtiyaç duyulduğu gibi frekansların geniş bir bandını gerektirir. Milimetrik dalga bantlarının uzun mesafelerde veri aktarımı sınırlamaları ve olumsuz yayılım özellikleri olduğuna inanılırdı. Ancak Samsung'un yeni hücreli ağ teknolojisi başarılı bir çözüm olarak kendini kanıtlamıştır. Yapılan çalışmada milimetre dalga bandında 28 GHz frekansında, 2 kilometre mesafeye kadar, 1.056 Gbps hızında veri iletilmiştir. Radyo yayılım kaybının aşılması için 64 anten ve klasik radyo frekanslarından daha yüksek milimetrik dalga bantları bir çözüm olabilir. 5G mobil iletişim teknolojilerini, 2020 yılında ticarileştirmek için milimetrik dalga bantlarını ve adaptif dizi alıcı-vericiler üzerinde araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir [78-83].

Bu yeni teknolojinin, kullanıcılara sınırlama olmaksızın büyük veri dosyalarını iletimini sağlayacaktır. Sonuç olarak, kullanıcılar 3D filmler ve oyunlar, ultra yüksek çözünürlükle içeriğinin gerçek-zamanlı iletimiyle hologramik görüşmeler ve uzaktan sağlık hizmetleri gibi geniş alanlarda hizmet sağlaması öngörülmektedir [84].

2.2 Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası ve Ulusal Maruziyet Limit Standartları

Yeni nesil baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alan ve dalgalar, bir çok parametreye göre değerlendirilebilir. Bu değerlendirmelerin yapılabilmesi için

özel ölçüm metodolojisi, hata değerlendirilmesi ve belirli kurumlar veya laboratuvarlar tarafından kalibrasyonu yapılmış cihaz ve düzenekler kullanılır [85,86]. Günümüzde pratik açıdan elektromanyetik alan ve dalgalar esasen elektrik alan şiddeti (E), manyetik alan şiddeti (H) ve güç yoğunluğu (S) parametreleriyle değerlendirilir. Bu parametrelerin belli ulusal ve uluslararası standartlara uygunluk sağlaması gerekmektedir.

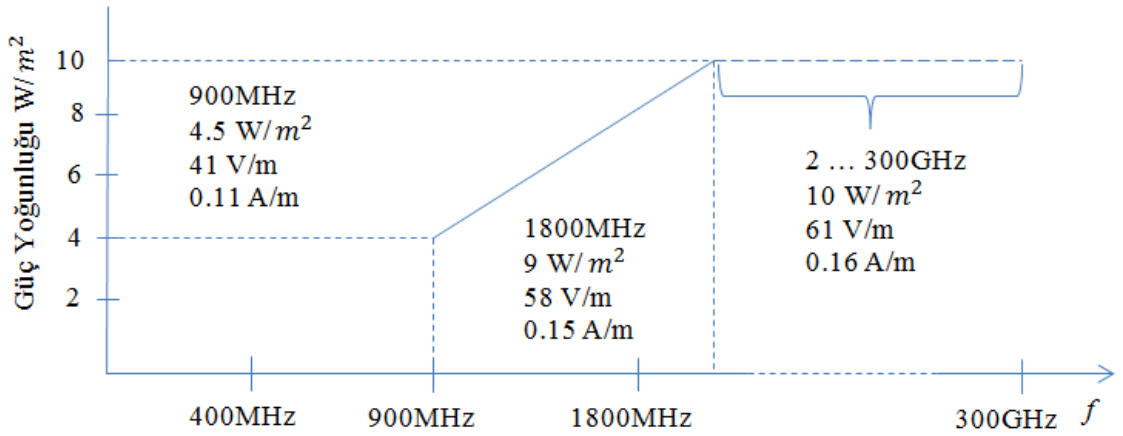
Yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyonun insan ve diğer canlılar üzerine etkilerini minimize edebilmek amacıyla çeşitli uluslararası kuruluşlar tarafından standartlar belirlenmiştir. GSM baz istasyonları için standartları Avrupa ülkelerinde ETSI (European Telecommunication Standardization Institute,1997)[87] , Amerika Birleşik devletlerinde ise FCC (Federal Communications Commission) tarafından belirlenmiştir [88]. ICNIRP, (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) tarafından belirlenen limitler uluslararası arenada (ICNIRP, 1998) en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, dünya sağlık örgütü (WHO) ve uluslararası çalışma örgütü (ILO) tarafından tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. IEEE ve ICNIRP kılavuzu'nda yer alan çalışmalar, üniversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi, epidemiyolojist ve ilgili diğer bilim insanlarından oluşan disiplinler arası bir ekip tarafından yürütülmüştür [89-91]. Uluslararası uygulamalarda ve günümüzde ülkemizde uygulanan esas standartlar aşağıdaki gibidir. Dünya genelinde ülkelerin kullanmış oldukları limit değerler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dünya genelinde ülkelerin kabul ettikleri limit değerler

Kuruluş / Ülke	Frekans [MHz]	Elektrik Alan Değeri [V/m]
ICNIRP (1998)	900	41
	1800	58
Türkiye	900	41,25 (Tek cihaz 10)
	1800	58,33 (Tek cihaz 14)
	2100	61 (Tek cihaz 15)
İngiltere	900	46,4
	1800	61,4
Belçika	900	10,2
İtalya	900	6,1
Rusya	900	6,1
Macaristan	900	6,1
Polonya	900	6,1

Bulgaristan	900	6,1
Yunanistan	900	32,9
İsveç	900	4
Lüksemburg	900	4
Çin	900	12
İsviçre	900	4
	1800	6

Aralarında Türkiye'nin de bulunduğu dünyanın bir çok ülkesinde kullanılan ve elektromanyetik alanın ışınımının genel maruziyet seviyesini belirleyen ICNIRP standartlarının referans değerleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Elektromanyetik ışınım genel maruziyet seviyesinin ICNIRP standartlarına göre referans değerleri

Günümüz itibariyle Türkiye'de elektromanyetik alan ölçümleri 21 Nisan 2011 tarih ve 27912 sayılı Resmi Gazete ile yayımlanan resmi gazete hükümlerine göre yürütülmektedir [64].

Buna göre Sağlık kuruluşlarında kurulacak elektronik haberleşme cihazlarının; tıbbi cihazların etkilenmemesi amacıyla ortamda oluşturacağı elektrik alan şiddet değeri, $E= 3$ [V/m]'yi geçemez (BTK,2011, Madde 6-3). Yönetmelik gereği ülkemiz için belirlenen, yoğun kullanılan bazı frekanslar için hazırlanmış elektromanyetik alan sınır değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Ülkemizde Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu ICNIRP limitlerinin en üst seviyesine göre belirlediği limitleri 21.04.2011 Tarih ve 27312 Sayılı Resmi Gazetede "Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik" te yayınlamıştır.

Çizelge 2.2. Farklı frekanslarda BTK tarafından belirlenmiş limit elektrik alan değerleri

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 900	10,23	41,25
GSM 1800	14,47	58,33
UMTS 2100	15	61

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu yönetmeliğinde ortamın toplamı için olan sınır değerler ile tek bir cihaz için olan sınır değerler birbirinden ayrılmıştır ve ortamın toplamı için olan sınır değerinin %25'i alınarak tek bir cihaz için olan sınır değeri belirlenmiştir.

2.3 Elektromanyetik Alan ve Dalgaların Temel Denklemleri

Makroskopik yaklaşımda bütün elektromanyetik olaylar J. C. Maxwell (1873) tarafından düzenlenmiş differansiyel denklemlerle (Maxwell Denklemleri) ifade edilir. İntegral ve diferansiyel biçimlerde yazılan Maxwell denklemleri kendi devrinde yapılan deneysel ve teorik verilerin düzenlenmesi ile elde edilmiştir ve halen de elektromanyetik alan ve dalga teorisinin temelini oluşturmaktadırlar.

2.3.1. Maxwell denklemlerinin ani değerlerle ve kompleks biçimde yazılımları

Maxwell denklemlerinin ani değerlerle diferansiyel biçimi aşağıdaki şekilde yazılır [92].

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_C + \vec{J}_D = \vec{J}_C + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

Burada; t - zaman, $\vec{J}_C = \sigma \vec{E}$ - ortamın iletim akım yoğunluğu, \vec{E} - elektrik alanı şiddeti vektörü, \vec{D} - deplasman akı yoğunluğu vektörü, \vec{B} - manyetik alan yoğunluğu vektörü, \vec{H} - manyetik alan şiddeti vektörü, ρ - hacimsel yük yoğunluğudur.

Doğrusal ve izotropik ortamlarda \bar{D} ve \bar{E} , \bar{B} ve \bar{H} arasında aşağıdaki basit ilişkiler vardır.

$$\bar{D} = \epsilon \bar{E}, \bar{B} = \mu \bar{H} \quad (2.5)$$

Burada;

$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ - ortamın dielektrik sabiti, ϵ_r - bağıl dielektrik geçirgenlik, $\epsilon_0 = 10^{-9}/36\pi$ (F/m) - boşluğun dielektrik sabiti, $\mu = \mu_r \mu_0$ - ortamın manyetik geçirgenliği, μ_r - bağıl manyetik geçirgenlik, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ (H/m) - boşluğun manyetik sabitidir.

Serbest yükün olmadığı ($\rho=0$) ve iletim akımının olmadığı ($J_c=0$) serbest uzay için Maxwell denklemleri daha da basitleşir.

Gerçek elektromanyetik olayların tümünü ya darbe biçimli harmonik salınımların toplamı gibi ya da sürekli harmonik salınımların spektrumu gibi değerlendirmek mümkündür. Bu nedenle elektromanyetik alanların zaman tabanlı harmonik fonksiyonlar biçiminde incelenmesi hem teorik hem de pratik açıdan önem arz etmektedir. Maxwell denklemlerinin karmaşık biçimi aşağıdaki şekilde yazılır:

$$\nabla \times \bar{H} = j\omega \bar{\epsilon} \bar{E} \quad (2.6)$$

$$\nabla \times \bar{E} = -j\omega \bar{\mu} \bar{H} \quad (2.7)$$

$$\nabla \cdot \bar{E} = 0 \quad (2.8)$$

$$\nabla \cdot \bar{B} = 0 \quad (2.9)$$

Burada $\bar{\epsilon} = \epsilon(1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}) = \epsilon' - j\epsilon''$ kompleks dielektrik geçirgenlik, $\bar{\mu} = \mu' - j\mu''$ kompleks manyetik geçirgenliktir. $\tan \delta = \frac{\sigma}{\omega\epsilon}$ kayıp açısının tanjantıdır. Dielektrik ve manyetik kayıpların oluşması \bar{E} ve \bar{D} , \bar{H} ve \bar{B} vektörleri arasında faz farkının oluşmasına neden olur.

Basit matematiksel işlemlerden sonra Maxwell denklemlerinden elektromanyetik dalga denklemleri elde edilir.

2.3.2. Elektromanyetik dalga teorisinin temel denklemleri

Ortamın düzgün ve izotropik olduğunu varsayarak genel olarak F dalga olaylarının genel denklemleri aşağıdaki biçimde yazılır.

$$\nabla^2 F - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 F}{\partial t^2} = f(x,y,z,t) \quad (2.10)$$

Burada v - dalganın ortamdaki yayılma hızıdır. Bu tür denklemler D' Alambert non homojen denklemleri olarak tanımlanır. Eğer $f(x,y,z,t)=0$ ise (2.10 eşitliği) homojen

D'Alambert denklemi veya homojen dalga denklemleri adını alır. Burada ∇^2 -Laplace operatörü olarak tanımlanır ve kartezyen koordinatlarda aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2.11)$$

2.1-2.4 eşitlikleri, basit matematiksel işlemler yapılarak 2.10 eşitliği biçiminde yazılabilir. Pratik uygulamalarda kompleks biçimde elektromanyetik dalga denklemleri aşağıdaki gibi yazılır,

$$\nabla^2 \bar{E} + \omega^2 \bar{\epsilon} \bar{\mu} \bar{E} = 0 \quad (2.12)$$

$$\nabla^2 \bar{H} + \omega^2 \bar{\epsilon} \bar{\mu} \bar{H} = 0 \quad (2.13)$$

Bu denklemler sistemi Helmholtz homojen denklemleri adını alır. ϵ ve μ gerçel değerlerinde homojen Helmholtz denklemi aşağıdaki şekilde yazılır,

$$\nabla^2 \bar{E} = \gamma^2 \bar{E} \quad (2.14)$$

$$\nabla^2 \bar{H} = \gamma^2 \bar{H} \quad (2.15)$$

Burada $\gamma = \alpha + j\beta$ dalganın yayılma sabitidir. α ve β ise pozitif gerçel sabitler olmakla;

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1 \right]} \quad (\text{Np/m}) - \text{sönme katsayısı.} \quad (2.16)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1 \right]} \quad (\text{rad/m}) - \text{faz katsayısıdır.} \quad (2.17)$$

2.3.3. Elektromanyetik dalgaların radyasyonu ve yayılması, elektrik (Hertz) dipol anten

Elektromanyetik enerjinin ortamda radyasyonu ve yayılması Maxwell denklemlerinden açıklanabilir. Bu denklemlere göre elektrik akımı dielektrik ortamda ve boşlukta deplasman akımı olarak dolaşabilir. Bu durumda iletim akımında olduğu gibi deplasman akımının da etrafında manyetik alan oluşur. Deplasman akımının ortamdaki hareketi ve yayılması elektromanyetik enerjinin yayılması ile oluşur. Elektromanyetik dalgaların yayılması antenlerle gerçekleştirilir. Anten şemaları belli koşulları sağlamalıdır. Esas koşul antenlerin minimal enerjiye sahip olmaları koşuludur. Antenler buldukları ortamda ışınmamalıdır, yani reaktif olmalıdırlar. Reaktif enerji arttıkça antenin kayıpları artar, yayılma bandı

daralır. Düşük reaktif enerjide sürekli radyasyon yapan anten yapılarından biri de elektrik (Hertz) dipoludur. Elektrik (Hertz) dipolu, uzunluğu dalga boyundan kısa olan ($\ell < \lambda$) iletkenle oluşturulur. Bu iletken boyunca akan akımın genliği ve fazı sabittir. Genelde dipollerde sabit genlik ve faza sahip akım oluşturmak imkânsızdır. Hertz dipolünde akım genliğinin ve fazının değişimleri ihmal edilecek kadar düşüktür. Elektrik dipolunun oluşturduğu elektromanyetik alanın belirlenmesi problemi sınırsız, homojen ve izotropik ortamda bulunan sonsuz küçük akım elemanı tarafından oluşturulan alanın incelenmesi anlamına gelmektedir. Şekil 2.2'de gösterilen sonsuz küçük akım elemanı tarafından oluşturulan vektör potansiyel aşağıdaki şekilde belirlenir [92,93].

$$\bar{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_{-\frac{\ell}{2}}^{\frac{\ell}{2}} \frac{Id\ell e^{-jkR}}{R} \bar{a}_z \quad (2.18)$$

$$\text{Burada; } R = \sqrt{r^2 + L^2 - 2rL \cos \theta} \text{ ve } -\frac{L}{2} \leq \ell \leq \frac{L}{2} \quad (2.19)$$

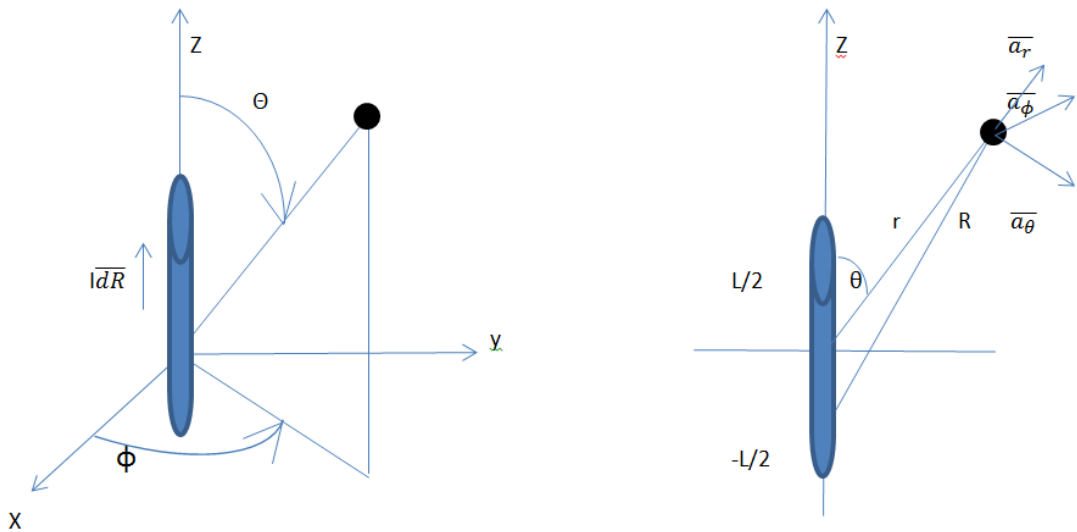
2.18 eşitliğindeki integrali hesaplarken aşağıdaki koşulların sağlandığı kabul edilir:

- Gözlem noktasına kadar olan uzaklık dipolun boyutlarından yeterince büyüktür, $r \gg \ell$.
- Dipolun boyutu dalga boyundan çok küçüktür, $\ell \ll \lambda$.

Bu koşullarda $R \approx r$ ve $e^{-j\beta R} \sim e^{-j\beta r}$ olduğunu varsayabiliriz.

Bu yaklaşımlar dikkate alındığında 2.18 eşitliği aşağıdaki gibi olur,

$$\bar{A} = \frac{\mu \ell I}{4\pi r} e^{-j\beta r} \bar{a}_z \quad (2.20)$$



Şekil 2.2. Elektrik (Hertz) dipolun prensip şeması ve koordinatlar

Küresel koordinatlarda $\bar{a}_z = \cos \theta \bar{a}_r - \sin \theta \bar{a}_\theta$ olduğundan

$$\bar{A} = \frac{\mu I \ell}{4\pi r} e^{-\beta r} (\cos \theta \bar{a}_r - \sin \theta \bar{a}_\theta) \quad (2.21)$$

yazılır. \bar{A} manyetik potansiyel dikkate alındığında incelenen bölgede (akım kaynağı veya anten dışındaki) fazör alanları aşağıdaki denklemlerle verilir,

$$\bar{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \bar{A} = \frac{v}{Z} \nabla \times \bar{A} \quad (2.22)$$

$$\bar{E} = \frac{v}{j\beta} \nabla \times \nabla \times \bar{A} \quad (2.23)$$

Burada;

$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ - dalganın ortamdaki yayılma hızı, $\beta = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$ - dalganın faz katsayısı, Z -

dalga empedansıdır. Boşlukta $v = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, $Z = Z_0 = 120\pi \Omega$ 'dur.

2.21 eşitliği dikkate alındığında, 2.22 ve 2.23 eşitliklerinden \bar{E} ve \bar{H} alanlarının bileşenleri kolaylıkla belirlenebilir.

$$\bar{H} = H_\phi \bar{a}_\phi = \frac{I \ell}{4\pi} \beta^2 \sin \theta e^{-j\beta r} \left[\frac{j}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} \right] \bar{a}_\phi \quad (2.24)$$

$$\begin{aligned} \bar{E} = E_\theta \bar{a}_\theta + E_r \bar{a}_r = \frac{Z^2 I \ell}{4\pi} \beta^2 \cos \theta e^{-j\beta r} \left[\frac{1}{\beta^2 r^2} - j \frac{1}{\beta^3 r^3} \right] \bar{a}_r + \\ \frac{Z^2 I \ell}{4\pi} \beta^2 \sin \theta e^{-j\beta r} \left[j \frac{1}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} - j \frac{1}{\beta^3 r^3} \right] \bar{a}_\theta \end{aligned} \quad (2.25)$$

Bu ifadeler \bar{E} ve \bar{H} vektörlerin kompleks değerleri için elde edilmiştir. \bar{E} ve \bar{H} vektörlerin ani değerlerini belirlemek için bu ifadeler $e^{j\omega t}$ operatörü ile çarpılarak reel kısımları götürülür;

$$E = \text{Re} \{ \bar{E} e^{j\omega t} \} \quad (2.26)$$

$$H = \text{Re} \{ \bar{H} e^{j\omega t} \} \quad (2.27)$$

Yukarıdaki ifadelerden görüldüğü gibi elementer dipolun oluştuğu \bar{E} alanının E_r ve E_θ olan iki bileşeni ve \bar{H} alanının ise H_ϕ olarak tek bileşeni vardır. Bu nedenle uzayın her bir noktasında \bar{E} vektör dipolun eksenine düzleminde, \bar{H} ise dipolun eksenine dik düzlemde bulunmaktadır.

\bar{H} ve \bar{E} 'nin ifadelerinden görüldüğü gibi bu parametrelerin dipoldan olan r uzaklığına göre değişimleri $\left(\frac{1}{\beta r}\right)$ parametrelerine göre belirlenir.

- Eğer $\beta r \gg 1$ ise $\left(\frac{1}{\beta r}\right)^2$ ve $\left(\frac{1}{\beta r}\right)^3$ ihmal edilebilir,
- Eğer $\beta r \ll 1$ ise \bar{E} ve \bar{H} ifadelerinde $\left(\frac{1}{\beta r}\right)^3$ terimlerini içeren ifadeler daha etkin olurlar.

Bu nedenle elektrik dipolun etrafında oluşan elektromanyetik alan üç esas bölge olarak tanımlanır.

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

Öte yandan $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ olduğuna göre $\beta r \gg 1$, $\beta r \ll 1$ ve $\beta r \sim 1$ koşulları sırasıyla $2\pi r \gg \lambda$, $2\pi r \ll \lambda$ ve $2\pi r \sim \lambda$ olarak da değerlendirilebilir. Elektrik dipol etrafında oluşan bu bölgelerdeki elektromanyetik alanın özellikleri kısaca aşağıdaki gibi değerlendirilebilir.

2.3.4. Elektromanyetik dalgaların yayıldığı yakın, geçici ve uzak bölgeler

2.3.4.1. Uzak bölge veya dalga bölgesi

Uzak bölge $2\pi r \gg \lambda$ olarak tanımlanan bölgedir. Bu bölgede 2.24 ve 2.25 eşitliklerinden görüldüğü gibi E_R bileşeni ihmal edilebilir. E_θ ve H_ϕ bileşenlerinde $(\frac{1}{\beta r})^2$ ve $(\frac{1}{\beta r})^3$ terimleri, $(\frac{1}{\beta r})$ değerlerine göre ihmal edilebilir. Bu durumda \bar{E} ve \bar{H} alanların kompleks ifadeleri aşağıdaki gibi yazılır,

$$H_\phi = j \frac{j\ell\beta}{4\pi r} \sin \theta e^{-j\beta r} \quad (2.28)$$

$$E_\theta = Z \frac{j\ell\beta}{4\pi r} \sin \theta e^{-j\beta r} = ZH_\phi \quad (2.29)$$

Bu eşitlik, genliği $1/r$ ile orantılı olarak azalan ve $+\bar{a}_r$ yönünde yayılan raksak bir küresel dalgayı temsil eder.

Hertz dipolü tarafından ışınan güç uzak alanın zaman ortalama Poynting vektörünün büyük yarıçaplı bir küre yüzeyi üzerinden ($\beta r \gg 1$) integrali alınarak elde edilir.

$$\overline{P}_{ort} = \frac{1}{2} \text{Re} [\bar{E} \times \bar{H}^*]; \quad P_{ışınma} = \oint \overline{P}_{ort} d\bar{s} = Z \frac{\pi I^2}{3} \left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2 \quad (2.30)$$

Boşlukta ortamın dalga empedansı $Z=Z_0=120\pi \Omega$ olduğuna göre, uzak bölgedeki ışınma gücü aşağıdaki gibi olur.

$$P_{ışınma} = 40\pi^2 I^2 \left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2 \quad (2.31)$$

2.3.4.2. Yakın bölge ve geçici bölge

Yakın bölgede $r \ll \lambda/2\pi$ fakat elementer dipol için $r \gg \ell$ olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle gerçekte yakın bölge olarak $\ell \leq r \leq \lambda/2\pi$

tanımlanmaktadır. Bu nedenle 2.24 ve 2.25 eşitliklerinde $1/(\beta r)^2$ ve $(1/\beta r)$ terimleri ihmal edilerek yakın bölge için aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\bar{E}_r = -jZ \frac{Id\ell}{4\pi\beta r^3} \cos \theta e^{-j\beta r} \quad (2.32)$$

$$\bar{E}_\theta = -jZ \frac{Id\ell}{4\pi\beta r^3} \sin \theta e^{-j\beta r} \quad (2.33)$$

$$\bar{H}_\phi = \frac{Id\ell}{4\pi r^2} \sin \theta e^{-j\beta r} \quad (2.34)$$

Ayrıca yakın bölgede $r \ll \frac{\lambda}{2\pi}$ olduğuna göre $e^{-j\beta r} \rightarrow 1$ olduğunu da varsayabiliriz.

Bu durumda manyetik alan;

$$\bar{H} = \frac{I\ell}{4\pi r^2} \sin \theta \quad (2.35)$$

olur. Bu ifade $Id\ell$ akım elemanının etrafında oluşan manyetik alana benzerdir [92].

Dolayısıyla yakın bölgede elementer dipolun oluşturduğu manyetik alan, Biot-Savart yasasına göre elementer akım elemanının oluşturduğu manyetik alanla aynıdır. Bu durumda akım elemanının I sabit akımı, dipolun akımına eşit varsayılmaktadır.

Yakın bölgedeki elektrik alanı ise $\bar{p} = q \ell \bar{a}_z$ elektrostatik dipolunun oluşturduğu elektrik alanı ile aynıdır. Burada elektrik yükünün elementer dipolun uçlarındaki yüklere eşit olduğu varsayılmaktadır.

Yakın bölgede \bar{E} ve \bar{H} alanları arasındaki faz farkı $\pi/2'$ ye eşittir. Bu nedenle Poynting vektörü sanal ifadedir ve onun ortalama değeri sıfırdır. Fakat bu, yakın bölgede ışınım oluşmadığını göstermektedir. Uzak bölgede olduğu gibi, yakın bölgede de elektromanyetik alan $(1/\beta r)$ ifadesine orantılı olarak değişmektedir. Bu ışınımın mutlak değeri E_R, E_θ ve H_ϕ bileşenlerinin mutlak değerlerinden düşüktür. Bu sonuç yakın bölgede ihmal edilemeyecek ölçütte büyük reaktif alan oluşması anlamına gelir.

Geçici bölge yakın bölgeden uzak bölgeye geçiş bölgesidir. Bu bölgede 2.24 ve 2.25 eşitliklerinin içerdiği $(\frac{1}{\beta r})$ dereceli terimlerinin hiçbiri ihmal edilemezler. Dolayısıyla geçici bölgede ışınma ve reaktif alanlar aynı derecede etkin olmaktadır.

2.24 ve 2.25 eşitlikleri elementler dipolün ışıdığı elektromanyetik alanın yapısını incelemeye imkân verir. Bu bölgede yayılan elektromanyetik dalga karmaşık bir biçimde olur. Bu bölgede dalga silindiresel veya eliptik biçimlerden; uzak bölgede küresel biçime dönüşmektedir.

2.3.5. Anten parametreleri

Bir antenin çalışma verimini değerlendirmek için birkaç parametreler kullanılır. Işıma direnci olarak ($R_{ışılma}$), aynı akımla beslendiği zaman antenin ışıdığı güce eşit bir güç harcayan varsayımsal bir direncin değeri olarak tanımlanır.

Örüntü fonksiyonu $F(\theta, \phi)$, uzak bölge elektrik ve manyetik alan genliklerinin yöne göre değişimlerini verir.

Işıma şiddeti $U(\theta, \phi)$, anten performansının ölçütü olup, birim katı açı başına ışınan zaman ortalama güç olarak tanımlanır.

Antenin yönlü kazancı $D(\theta, \phi)$, ışıma şiddeti $U(\theta, \phi)$ 'nin aynı U_0 toplam gücünü ışıyan varsayımsal bir izotropik kaynağın ışıma şiddetine oranı olarak tanımlanır.

Antenin yöneticiliği D_{max} yönlü kazancının maksimum değeridir.

Antenin ışıma verimi $\eta_{ışılma} = \frac{P_{ışılma}}{P_{giriş}}$ olarak tanımlanır. Burada $P_{giriş}$ antenin beslemeden çektiği zaman ortalama güçtür.

Güç kazancı $G(\theta, \phi)$ verim ile yönlü kazancın çarpımı olarak tanımlanır $G(\theta, \phi) = \eta_{ışılma} D(\theta, \phi)$ Hertz dipolu için uzak bölge anten parametreleri aşağıdaki gibi olur,

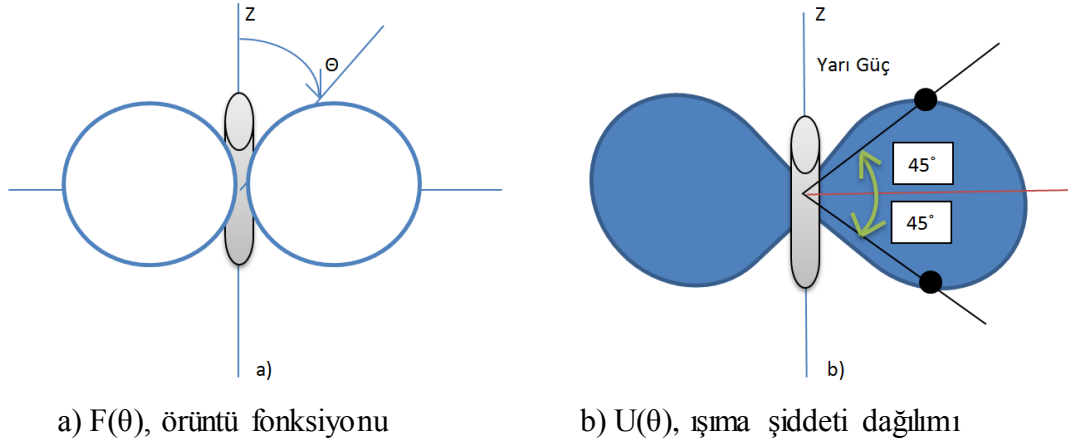
$$R_{ışılma} = \frac{2\pi Z}{3} \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 \approx 790 \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 (\Omega); \quad U(\theta) = \frac{Z}{8} \left(\frac{IL}{\lambda}\right)^2 \sin^2 \theta; \quad U_0 = \frac{P_{ışılma}}{4\pi},$$

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{ışılma}}; \quad D_{max} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{ışılma}}; \quad D(\theta, \phi) = 1.5 \sin^2 \theta, \quad D_{max} = 1.5;$$

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{ışılma} + P_L} \quad (2.36)$$

Burada P_L antenin omik kaybıdır.

Hertz dipolu için $F(\theta)$ örüntü fonksiyonu ve ışıma şiddeti dağılımının kutupsal eğrileri Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Hertz dipolünün dalga dağılımının kutupsal eğrileri

Böylece, uzak bölgede Hertz dipolunun ışıdığı elektromanyetik enerji dipolun merkezinden radyal yönde yarıçap boyunca yayılmaktadır. \vec{E} ve \vec{H} vektörlerin orantısı ortamın dalga empedansına (Z) eşittir,

$$Z = \frac{E_{\theta}}{H_{\phi}} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (2.37)$$

Boşlukta ortamın dalga empedansı sabittir.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \cong 377\Omega \quad (2.38)$$

2.3.6. Yakın ve uzak bölge sınırlarının belirlenmesi

Yakın ve uzak bölgeler arasındaki geçiş uzaklığı dalga boyunun faz farkının $1/16$ veya 22.5° değerine karşı gelen mesafe olarak tanımlanır ve

$$r_f = \frac{2L^2}{\lambda} \quad (2.39)$$

olarak belirlenir. Burada λ – dalga boyu, L - antenin çapı veya uzun kenarıdır.

Eğer farklı frekanslarda, aynı anten kullanılmış olursa, r_f değerleri frekans arttıkça artar. Fakat pratikte kullanılan antenler farklı frekanslar için farklı özelliklere sahip olurlar. Dahası her bir anten için L , dalga boyunun bir fonksiyonu olarak tasarlanır.

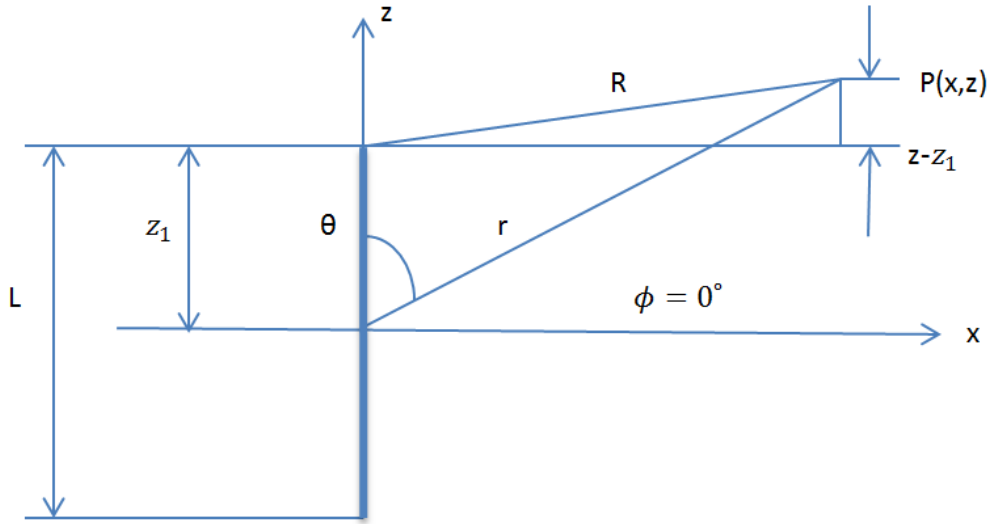
Dalga boyu değişimi ise $(\frac{\lambda}{2} \dots 100 \lambda)$ aralığında olabilir. Bu durumda r_f uzaklığı;

$$r_f = (\frac{c}{2f} \dots 20000 \frac{c}{f}) \quad (2.40)$$

aralığında değişebilir. Örneğin 10λ bir anten için $f = 3\text{GHz}$ frekansta $L = 100\text{cm}$ ve $r_f = 20\text{m}$ olacaktır. Oysa 10λ bir anten $f = 30\text{GHz}$ 'de $L = 10\text{cm}$ ve $r_f = 2\text{m}$ olacaktır.

Elementer akım elemanı ($I d\ell$) her ne kadar küçük olsa da, ($d\ell \ll \lambda$) gerçek koşullarda bu dipolların noktasal kaynak olarak varsayılması her zaman geçerli değildir. Bu nedenle reel antenler dipollar dizini gibi gösterebilirler.

Şekil 2.4'de gösterildiği gibi uzunluğu L olan ve m sayıda elementer dipoldan oluşturulmuş bir antenden, r uzaklıkta bulunan ışınım noktası $P(x,z)$ olduğunu varsayalım. P noktasının konumu antenden uzaklığı belirten iki parametre r ve R ile belirlenebilir (antenin merkezi ve ucundan). Şekil 2.4'den görüldüğü gibi silindrsel koordinatlarda aşağıdaki ilişkiler yazılabilir.



Şekil 2.4. L uzunluklu antenin P noktasını içeren yakın bölgesinin geometrisi

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

$$R = \sqrt{x^2 + z^2 - 2zz_1 + (z_1)^2} = \sqrt{r^2 + [-2(r \cos\theta)z_1 + (z_1)^2]} \quad (2.41)$$

2.41 eşitliğinin kuvvet serisine açılarak yüksek kuvvet terimleri ihmal edildiğinde ilk üç terim için aşağıdaki basit ifade elde edilir.

$$R = r - z_1 \cos\theta + \frac{(z_1)^2 \sin^2\theta}{2r} \quad (2.42)$$

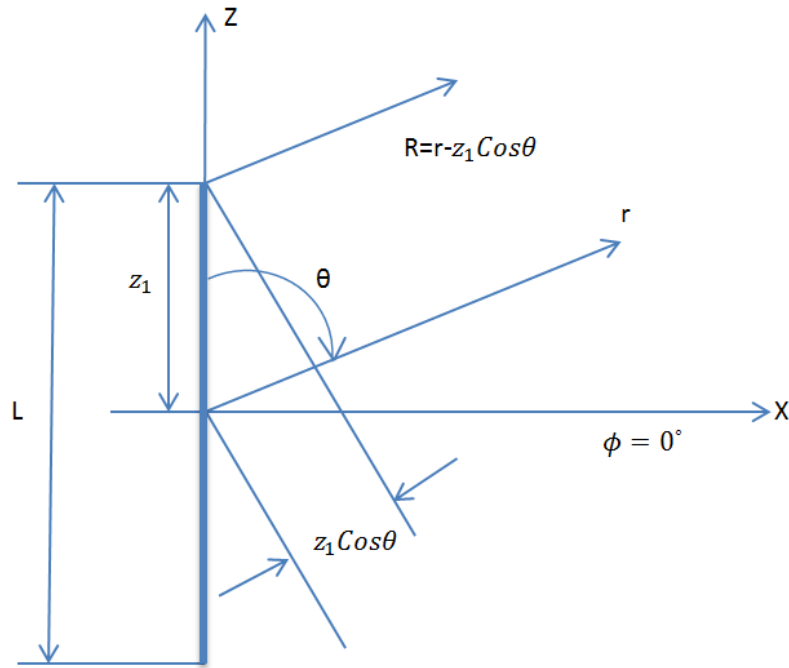
Yakın bölgenin bittiği veya uzak bölgenin başladığı uzaklık (r_f), 2.42 eşitliğinden elde edilen R ifadesindeki, sonuncu terimin dalga boyunun $1/16$ kısmına ($\lambda/16$) eşit olacağını sağlayacak r uzaklığı olarak belirlenir. R uzaklığı esasen antenin merkezinden olan uzaklık için ($\theta = 90^\circ$) belirlendiğine göre 2.42 eşitliğinin içerdiği üçüncü terimde $r = r_f$ olursa $\lambda/16$ eşitleştirildiğinde ($\theta=90^\circ$) aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{z_1^2}{2r_f} = \frac{\lambda}{16} \quad (2.43)$$

$z_1 = \frac{L}{2}$ olduğu göz önüne alındığında

$$r_f = \frac{16(L/2)^2}{2\lambda} = \frac{2L^2}{\lambda} \quad (2.44)$$

Elde edilir. Bu ifade literatürde uzak bölgenin başlangıç sınırı olarak varsayılmaktadır. Benzer yaklaşım uzak alan için de yapılabilir. Uzak alan için 2.42 eşitliğinde üçüncü terim ihmal edilebilir, zira $r \gg L$ veya $r \gg \lambda$. Bu durumda Şekil 2.5 aşağıdaki gibi basitleşebilir (P noktasının sonsuz uzaklıkta olduğu varsayılmıştır).



Şekil 2.5. Uzak alan sınırının belirlenmesi için yaklaşım grafiği

Genel olarak küresel simetriye sahip olan elektromanyetik dalga yayılımında uzak alanda güç yoğunluğu aşağıdaki gibi belirlenir,

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad (2.45)$$

Burada P_t - Antenin ışıma gücü olur. Fakat yukarıdaki yorumlardan açıkça görülmektedir ki yakın ve geçici bölgelerdeki güç yoğunluğu 2.45 eşitliğinden daha düşüktür.

Elektromanyetik dalga denklemlerinde \vec{E} ve \vec{H} alanları hem reel hem de sanal kısımları içermesinden dolayı yakın bölgede güç ışınımıyla beraber enerjinin

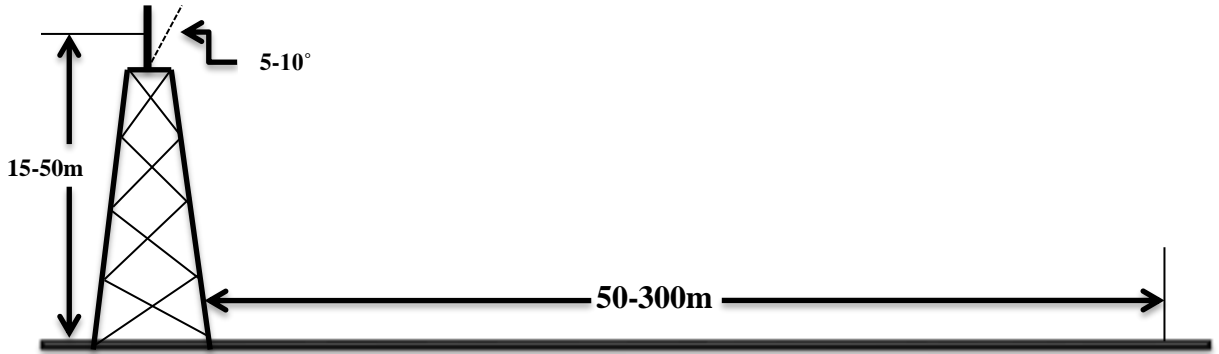
depolanması (reaktif güç) oluşmaktadır. Uzak bölge içerisinde oluşan dalga olaylarını değerlendirmek için $r_f = \frac{2L^2}{\lambda}$ sınırlarına yakın olan ve uzak bölgeye ait uzaklık ise aşağıdaki şekilde belirlenebilir,

$$r_f = \frac{2L^2}{\lambda} \text{ olduğu dikkate alındığında } \theta=90^\circ \text{ için (maksimum güç ışınımı bölgesi) elde edilir; } r = \sqrt{(L/2)^2 + r_f^2} \approx \frac{2L^2}{\lambda} + \frac{\lambda}{16}; \quad \frac{L}{\lambda} \gg 1. \quad (2.46)$$

Bu ifade literatürde yaygın olarak kullanılan ve antenden olan uzak alan mesafesini belirleyen ifadedir [85,86].

2.3.7 Yakın ve geçici bölgelerin özellikleri ve bazı problemleri

Bir antenin yaydığı elektromanyetik dalganın bir ışınım gücü ile antenden uzaklaştıkça karmaşık ve geçici olaylarla yayılarak ancak belli bir durulma zamanı ve uzaklıktan sonra kararlı enerji taşınımına sahip olduğu açıkça görülmektedir. Genel olarak literatürde bu uzaklık, iki şekilde yakın ve uzak bölge olarak tanımlanmaktadır [92,93]. Günümüz iletişim sistemlerinde kullanılan ve elektromanyetik dalga yayan kaynağının (baz istasyonu antenlerinin) prensip şeması ve karakteristik parametreleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Baz istasyonundan yayılan ışınım

Zemin

Baz istasyonundan kaynaklanan bu ışınımın kapsama alanı sınırlarında yakın ve uzak alana ait olduklarını değerlendirmek kolay değildir. Yeni nesil iletişim teknolojilerinin (3G, 4G, 5G) uygulanması ile hızla artan baz istasyonlarının konumlandırılması ve özellikle canlılar üzerindeki muhtemel etkilerinin değerlendirilmesi açısından, bu baz istasyonlarının yaydığı elektromanyetik alanın her bir bölge içerisinde daha detaylı belirlenmesine ciddi gereksinim vardır. Elektromanyetik alan ışınımı etkisinin seviyelerini belirleyen ulusal ve uluslararası

standartların önerdikleri limit değerlerin ve güvenlik mesafelerinin, pratikte ölçülen gerçek değerlerden farklı oldukları son yıllarda literatürde sıklıkla gündeme gelmektedir [85,86, 94-99]. Yukarıdaki teorik kavramları göz önüne alarak, baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanlar için yakın ve uzak bölge kavramları kısaca Çizelge 2.3'deki gibi değerlendirilebilir.

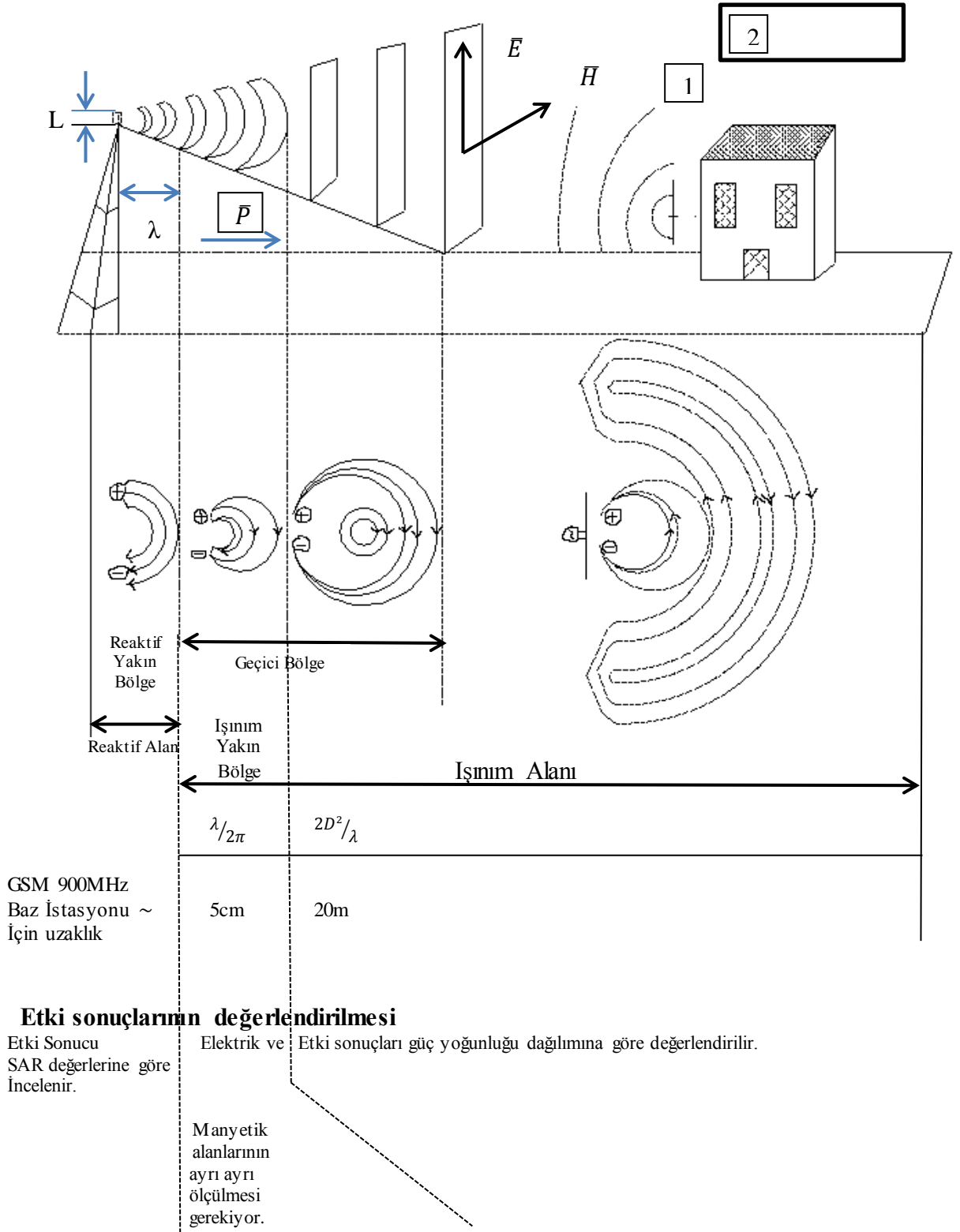
Çizelge 2.3. Baz istasyonların antenlerine yakın ve uzak bölge alan sınırları

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 bölgede \vec{E} ve \vec{H} düzlem dalga karakteri göstermemektedir. Bu bölgede daha çok reaktif enerji birikimi olur. Uzak bölgede ise \vec{E} ve \vec{H} alanları düzlem dalga yaklaşımı sağlayabilmektedir. Yakın ve uzak alan tanımları anten cinsine ve etkileşimlere göre, frekans ve anten boyutlarına göre farklı olabilir. Dahası basit ve düşük kazançlı antenler için uzak alan sınırı olarak; $R \geq \frac{\lambda}{2\pi}$ alınabildiği takdirde, daha karmaşık ve yüksek güçlü antenlerde ise $R \geq \frac{2L^2}{\lambda}$ olarak hesaplanabilir. Bu tanımlarda, antenlerin yarattığı elektromanyetik dalgaların fazlarının eşit ve düzlemsel dalga oldukları durum için geçerlidirler. Elektrik dipolun oluşturduğu elektromanyetik alan bölgeleri ve bu bölgelerin karakteristikleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Yeni nesil haberleşme sistemlerinde (3G, 4G) antenlerinin çıkış güçleri azalmakla bu tür sistemler için baz istasyonları makro, mikro ve piko hücre sistemlerinde yapılmaktadır [100]. Bu durumda antenlerin yaydıkları elektromanyetik alanların yakın ve uzak bölge tanımları o kadar anlamlı kalmamaktadır. Baz istasyon antenlerinden elektromanyetik alanların yayılması ve etkisi için anten etrafında oluşan bölgeler çoğu kez aşağıdaki gibi üç kısımda değerlendirilmektedir,

1. Reaktif yakın alan bölgesi $r_1 \leq 0.62 \sqrt{\frac{L^3}{\lambda}}$
2. Işıyan yakın alan (Frensel) bölgesi $r_1 \leq r \leq r_2 = 2L^2/\lambda$ (2.47)
3. Uzak alan (Frahunhofer) bölgesi $r \geq 2L^2/\lambda$



Şekil 2.7. Elektrik dipolun oluşturduğu elektromanyetik alan bölgeleri
 L- anten boyutu, λ - elektromanyetik dalganın dalga boyu, 1- yansıtıcının oluşturduğu yakın ışıma alanı, 2-yansıtıcı nesne

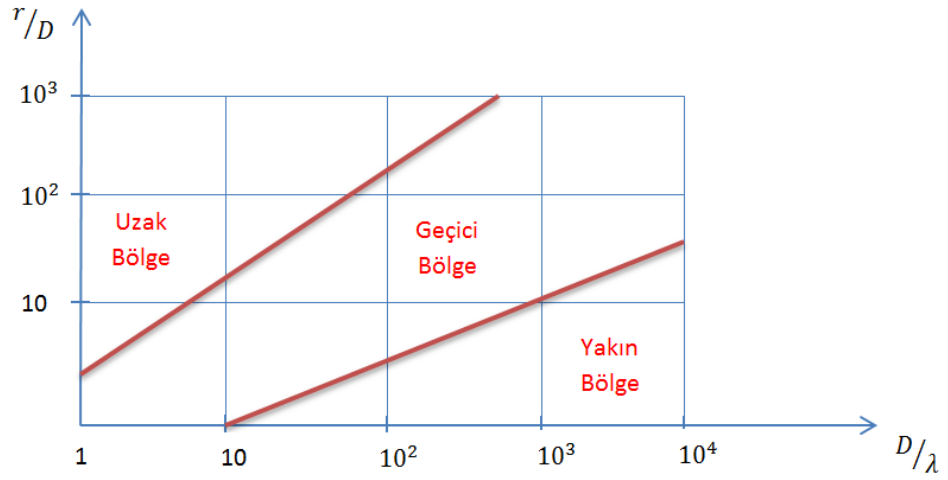
Yeni nesil baz istasyonu antenlerinin yaydıkları elektromanyetik alanların yakın ve uzak bölge sınırları ise farklı olabilir. Örneğin, yaygın olarak kullanılan KATHREIN türü antenler için deneylerle iyi uyum sağlayan yakın bölge ve uzak bölge sınırları, sırasıyla aşağıdaki gibi belirlenir [86, 101,102]

$$r \leq 0.85 \frac{L^2}{\lambda}; \quad r \geq \lambda + \frac{2L^2}{\lambda} \quad (2.48)$$

Bu nedenle yeni nesil haberleşme ve iletişim sistemlerin yaydıkları elektromanyetik alanların özelliklerini ve bu alanların biyoloji ve canlı üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek için dalgaların yaydığı yakın ve geçiş bölgesinin incelenmesi daha büyük önem arz etmektedir. Elektromanyetik alan teorisi açısından baz istasyonların oluşturdukları yakın ve geçiş bölgeleri yeterince incelenmemiştir. Bunun esas nedeni, elektromanyetik dalga antenlerin esasen uzak alan antenleri ve radar sistemlerinde kullanılması olmuştur. Yüksek frekanslı yeni nesil elektromanyetik alan ve dalga aygıtlarında ise çok küçük dalga boylarında ortaya çıkan olayların incelenmesi gereksinimi daha fazla önem kazanmıştır [4,103,104].

Genel olarak ışınım kaynaklarından yayılan dalgaların yakın bölgelerinin incelenmesi mühendislerin ve bilim insanlarının uzun zaman sürecinde dikkat merkezinde bulunan problemlerdendir. Örneğin elementer elektrik dipolunun (Hertz) oluşturduğu alan yayılımı [93], sinüsoidal akım taşıyan keyfi boyutlu dipolun alan dağılımları bellidir [103]. Küresel [105] ve bikonik [106] antenlerin problemleri yeterince incelenmiştir. Klasik ve modern antenlerin oluşturduğu yakın alanların teorik ve deneysel incelemeleri [107], ölçüm metodolojisi ve elektromanyetik özellikleri [108] araştırmaların merkezi olmuştur.

Yakın alanların teorik modellerinin uygulanmasıyla birçok ışınım kaynaklarının yaydıkları alanlar hesaplanmaktadır. Rastgele yüke ve uyarma sistemine sahip olan ince tel yapıların oluşturdukları yakın bölgenin tam hesabı moment yöntemi ile hesaplanabilir [109-112]. Sonuç itibariyle anten parametreleri ve dalga boyu arasındaki ilişkiler belli sınırlarda her üç uzaklığı da ifade etmektedir. Bu ilişkinin genel değişimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir [86].



Şekil 2.8. Elektromanyetik alan kaynağı (anten) etrafındaki yayılma bölgelerinin r , D ve λ parametrelerine göre değişimleri

Yeni nesil iletişim sistemlerinde (3G ve 4G) kullanılan antenlerin oluşturduğu elektromanyetik dalgaların yakın geçici ve uzak bölgelerinin özelliklerini yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde genelleştirebiliriz;

- 1) Yakın ve geçici bölgelerde elektromanyetik dalganın yayılması karma bir olay olup, hem reaktif hem de ışınım özelliklerine sahiptir.
- 2) Yakın ve geçici bölgede elektromanyetik alan silindirik ve eliptik özelliklere sahiptirler. \vec{E} ve \vec{H} bileşenleri ortogonal değildir ve birbirinden bağımsız değişmektedir. Yakın alan bölgesinde elektromanyetik alan dalga özelliği değildir, \vec{E} ve \vec{H} alanlarının fazları koordinatlardan bağımsızdır. Uzak alan bölgesinde ise elektromanyetik alan küresel özelliğine yani düzlemsel dalga karakterlerine sahiptir \vec{E} ve \vec{H} ortogonaldır.
- 3) Yakın bölgede elektromanyetik alan ışınımı hem enine hem de boyuna (radyal) uzunluklarla değişmektedir. Uzak alan dalgasında ışınım yalnız radyal yönde değişime sahip olur ve dikey değişiminin olmadığı varsayılmaktadır.
- 4) Detaylı değerlendirmede yakın bölge üç geçiş bölgesi olarak değerlendirilebilir; çok yakın bölge, $\lambda \leq r \leq L^2/4\lambda$ ile sınırlanmış salınım bölgesi ve uzak bölge. Her bir bölgede \vec{E} ve \vec{H} alanları ve S güç yoğunluğu farklı özelliklere sahip olurlar.

- 5) Reaktif yakın bölgesinde ışınmayan enerji (görünür statik alan) birikmektedir. Bu enerji elektromanyetik alan kaynağı etrafında kümeleşmiştir. Yani enerji taşınımı bulunmamakta ve ışınım oluşmamaktadır.
- 6) \vec{E} ve \vec{H} alanlarının genlikleri ve fazorları elektromanyetik alan kaynağından (antenden) olan uzaklığa etkin olarak bağlıdır.
- 7) Yakın bölgede dalga empedansı $Z = \frac{E}{H}$ sabit değildir ve boşluğun empedansından ($Z_0 = 120\pi = 377\Omega$) farklıdır. Dalga empedansı ortamın fiziksel parametrelerine ve elektromanyetik alan kaynağının özelliklerine göre kolaylıkla belirlenemez. Bu nedenle yakın alan bölgesinde her bir noktada hem \vec{E} hem de \vec{H} değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir.
- 8) Yakın alan bölgelerinde \vec{E} ve \vec{H} alanlarının değişimlerinin ölçülmesi kolay değildir [86,99]. Elektromanyetik alan kaynağından uzaklaştıkça \vec{E} ve \vec{H} değerlerinin hızla değişiminden dolayı bu değerleri, seçilen bölgenin çok sayıda noktalarında daha kısa aralıklarla ölçmek gerekir.
- 9) Yakın alan bölgesindeki \vec{E} ve \vec{H} değişimlerini ölçmek için özel tasarlanmış ölçüm düzenekleri gerekmektedir. Örneğin alan ölçümlerinde kullanılan sensörlerin boyutları hem dalga boyuna hem de alan gradyanına göre çok küçük olmalıdır.
- 10) Elektromanyetik alanda yakın alan ve uzak alan bölgelerinde yapılan ölçümlerin karakteristiği Çizelge 2.4'de daha açık gösterilmiştir [85]. Çizelge 2.4'den görüldüğü gibi uzak bölgeden farklı olarak, yakın alan bölgesi hiçbir parametreye göre kararlaşmış konuma sahip değildir.
- 11) Dipol antenin yaydığı elektromanyetik alanın incelenmesinde baskın olarak iki veya üç bölgeli modeller kullanılmaktadır (Çizelge 2.5).
- 12) Bütün bu sonuçlar değerlendirildiğinde baz istasyonlarının ve diğer elektromanyetik dalga kaynaklarının yaydığı elektromanyetik alanların, yakın bölge ve geçici alan bölgelerindeki özelliklerinin hem teorik hem de deneysel olarak ciddi incelemelere gereksinimi olduğu açıkça görülmektedir.

Çizelge 2.4. Yakın alan ve Uzak alan bölgelerinde ölçüm kıyaslaması [86].

PARAMETRELER	YAKIN BÖLGE ALANI	UZAK BÖLGE ALANI
Ölçülen <i>EMA</i> bileşikleri	E, H ve W	E veya H ve mikrodalga W
Diğer büyüklüklerin ölçülmesi	I,T(SA,SAR) “HESTIA”	Önemli değil
Özel bileşenler	3	1 veya 2
Kutuplanma	Görünür elipsoid	Doğrusal veya eliptik
Ortam	Karma, çok yönlü yayılma ve girişim	Çoğunlukla basit
Frekans spektrumu	Geniş, çoğu kez bilinmeyen çok saçaklanma	Çoğunlukla tek frekanslı
Antenler	Küçük, tüm yönlü	Rezonant, yönlü
Geçici ve özel <i>EMA</i> değişimleri	Önemli	Çoğunlukla önemsiz
Değişkenlik	3dB, 6dB veya daha fazla	1dB civarlarında
Sıcaklığa duyarlılığı	Önemli	Düşük
Etraf muhitin 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 2.5. Antenin yaydığı elektromanyetik alanın değerlendirilmesinin modelleri

3 Bölge Model			2 Bölge Model	
Alanın etkin olan bileşeni			Alanın etkin olan bileşeni	
$1/r$	$1/r^2$	$1/r^3$	$1/r$	$1/r^2$ ve $1/r^3$
Uzak bölge		Yakın bölge	Uzak bölge	Yakın bölge
Fraunhofer bölgesi	Geçici bölge	Frenel bölge	Fraunhofer bölgesi	Frenel bölge
Uzak bölge	Endüklenen alan bölgesi	Statik alan bölgesi	Uzak bölge	Reaktif bölge
Uzak ışınım alan bölgesi	Yakın ışınım alan bölgesi	Reaktif alan bölgesi	Işınım alan bölgesi	Endüklenme alan bölgesi
Uzak bölge	Geçici bölge	Görünür statik alan bölgesi	Uzak bölge	Statik veya Görünür statik alan bölgesi

3. MATERYALLER ve YÖNTEM

Doktora tez çalışması kapsamında İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimince kabul edilen 2012/28 nolu Araştırma ve ek projesi ile 2013/45 nolu Doktora projelerince alınmış olan ölçüm setleriyle planlanmış olan çalışmalar yapılmıştır.

3.1. Materyaller

3.1.1. Elektromanyetik alanları sürekli ölçme ve izleme sistemi “MonitEM”

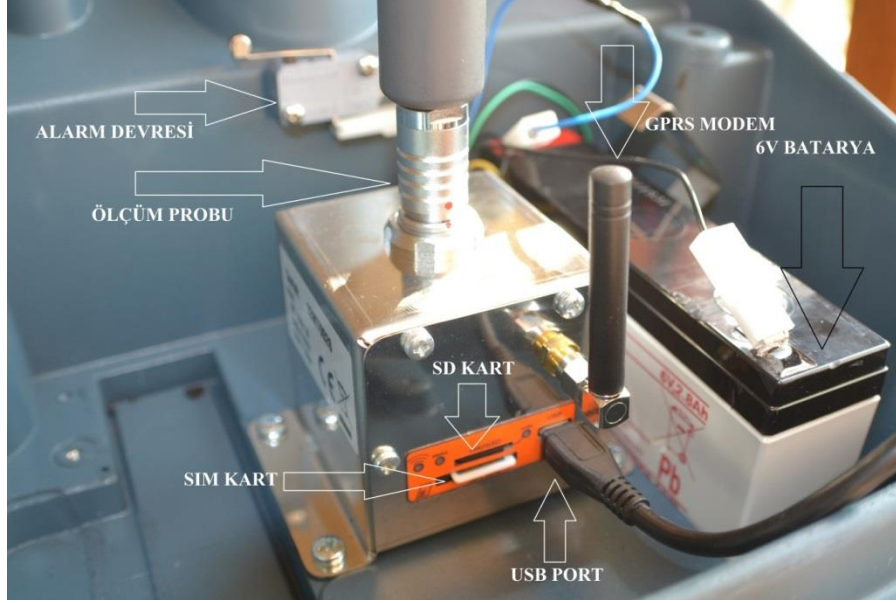
Doktora tez çalışması kapsamında İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimince kabul edilen 2012/28 nolu Araştırma projesi ile Wavecontrol Marka MonitEM (Monitoring Electromagnetic) sürekli elektromanyetik alanları ölçme ve izleme istasyonu alınmıştır. MonitEM, ölçüm problemleri ile izotropik, eş zamanlı, RMS ölçümler alınmaktadır ve 100kHz-8GHz gibi geniş bir frekans aralığında ölçüm alabilen ve değiştirilebilen problemlere sahiptir. MonitEM, 500ms’lik örnekleme zamanı ile ölçüm almaktadır. Altı dakikalık bu ölçümleri Sliding Window matematiksel metodu ile hesaplayarak, verileri 1 saniye ile 60 dakika arasında tercih edilebilen periyotlarda, üzerindeki GPRS modem aracılığıyla merkezi İspanya’da bulunan sisteme aktarmaktadır. Ayrıca ölçüm sonuçlarını çevrim dışı olarak dâhili micro SD karta yedekleyebilmektedir. Elektrik şebekesinden bağımsız olarak üzerindeki güneş enerjisi paneli ile dâhili bataryasını şarj etmektedir. Genel çalışma durumu itibari ile su ve toz geçirmemektedir. Şekil 3.1’de cihazın genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.1. Elektromanyetik alan sürekli ölçüm sistemi MonitEM a- MonitEM’in genel görünümü, b- MonitEM’in ölçüm donanımları

Dış koruyucu kapak çıkarıldığından, MonitEM ölçüm donanımları açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.2.b).

MonitEM sürekli elektromanyetik alanları ölçme ve izleme istasyonunun iç yapısının detayları Şekil 3.2.'de verilmiştir.

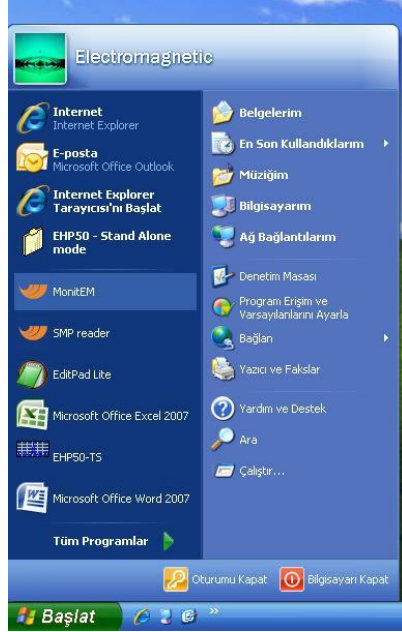


Şekil 3.2. MonitEM'in iç yapısı

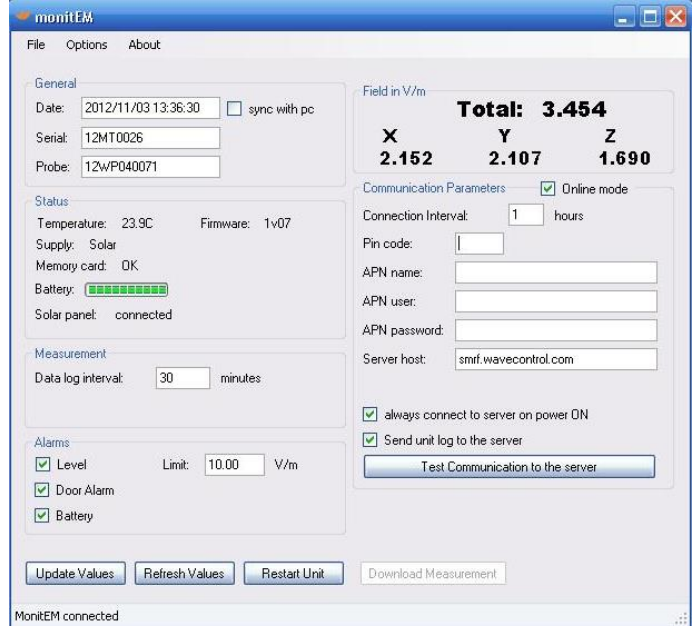
Şekil 3.2'den görüldüğü üzere MonitEM 6V, 2.8Ah'lik DC batarya ile beslenmektedir. İstenildiği takdirde AC şebeke modülü takılarak şebeke üzerinden de beslenebilir. Güneşin yeterli olmadığı durumda dolu batarya ile 10 günlük çalışma sağlanabilmektedir. 253 mm x 292 mm x 385 mm boyutlarında ve dâhili güneş paneli ile birlikte 3.6kg ağırlığındadır. Duvara, kuleye ya da tripod üzerine monte edilebilir. ITU-T K.83 ölçüm standardına uyumludur [113]. Üzerindeki dâhili GPRS modem aracılığıyla ölçüm değerlerini düzenli olarak İspanya'da bulunan sunucuya göndermektedir. Herhangi bir olumsuz durumda örneğin, koruyucu kapağın açılması, aşırı sıcaklık, uyku durumu, iletişim hatası, prob hatası gibi durumlarda alarm devresi, ilgili alarmı üreterek sistem üzerinde tanımlı olan mail adres(ler)ine bilgilendirme maili göndermektedir. Dahili SD kart ile ölçmüş olduğu verilerin yedeğini hafızasında tutmaktadır. Olası bir GPRS kesintisinde ölçümler kaybolmamakta, GPRS bağlantısı sağlandığında hafızadaki ölçümler, sunucuya anında aktarılmaktadır. GPRS Modem SIM kart ile çalışmakta olup; MonitEM ile sunucu arasındaki kesintisiz iletişimi sağlamaktadır. Üzerinde bulunan kırmızı, sarı

ve yeşil renklerdeki ledler, iletişim, sd karta veri yazma ve sistemin çalışma durumu ile ilgili farklı flaşlama modları ile bilgi vermektedir.

Üzerindeki USB portuna bilgisayar ile bağlanılarak, MonitEM'in sistem ayarlamaları, varsa güncellemeleri yapılabilmektedir. Bunun için bilgisayara kurulan yazılımın aktif hale getirilmesi gerekmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. MonitEM pc programı



Şekil 3.4. MonitEM'in genel, bağlantı ve tanımlama ayarlarının yapıldığı bilgi ekranı

MonitEM üzerindeki usb port ile bilgisayara bağlandıktan sonra, bilgisayar üzerinden MonitEM programı başlatılarak Şekil 3.4'de görülen pencereden MonitEM'in genel, bağlantı ve tanımlama ayarları yapılır. İletişimin sağlıklı olarak yapılabilmesi için saat ve tarih senkronizasyonu, bağlantı yapılacak sunucunun MonitEM'i tanıyacağı seri numarası, ölçüm probunun ID'si gibi ayarları 'General' bölümünden yapılmaktadır. Sistemin durum takibinde kullanılmış olduğu sıcaklık, batarya ömrü, kart hafıza durumu bilgileri ile kullanılan bağlantı sürümü bilgileri 'Status' bölümünden kontrol edilir. 'Measurement' bölümünde ise yapılan ölçümlerin sunucuya gönderilme periyodu seçilmektedir. Çalışmalarımızda genel olarak yarımsaatlik ölçüm periyodu seçilmiş ve kullanılmıştır. 'Alarms' bölümünden sisteme tanıtılmış olan mail adres(ler)ine belirlenmiş olan en yüksek elektrik alan seviyesinin aşılması durumunda, sistemin koruyucu kapağının çıkarılması durumunda ve batarya seviyesi kritik düzeye ulaştığında bilgilendirmeler mail yoluyla .PDF ve .CSV formatlarında anında ulaştırılmaktadır. 'Field' bölümünde toplam ve X, Y, Z eksenlerinde ölçülen o andaki elektrik alan şiddeti

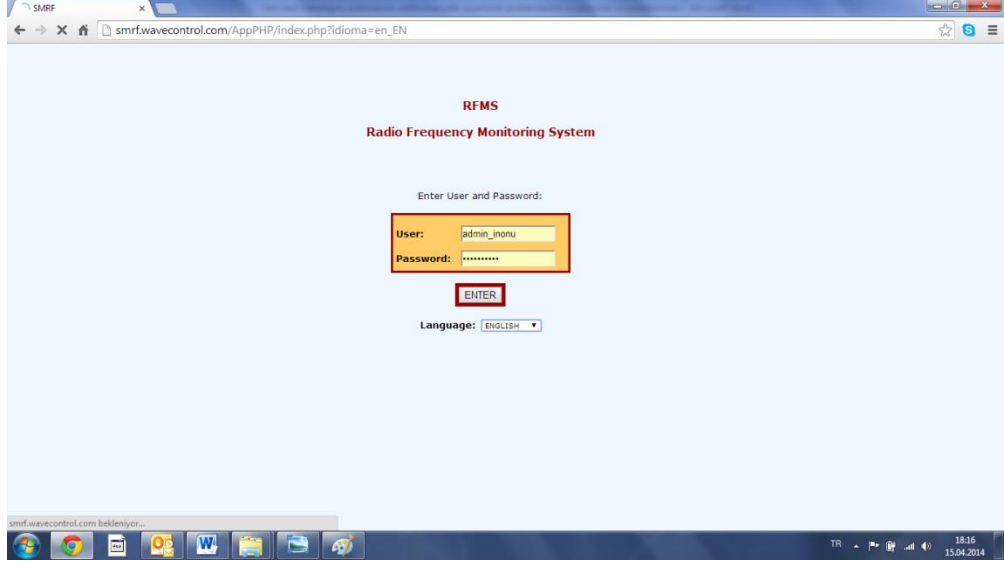
değerleri görülebilmektedir. Böylelikle MonitEM'i iç mekânlarda, anlık ölçümlerde kullanma olanağı sağlamaktadır. 'Communication Parametres' bölümü ile de MonitEM ile sunucu arasında bağlantı için kullanılan SIM kart bilgilerinin girişleri ve bağlantı testleri yapılmaktadır. Tüm veri girişleri doğru bir şekilde yapıp; MonitEM ile sunucu arasında iletişim senkronizasyonu sağlandıktan sonra sistem sürekli ölçüm için hazırdır.



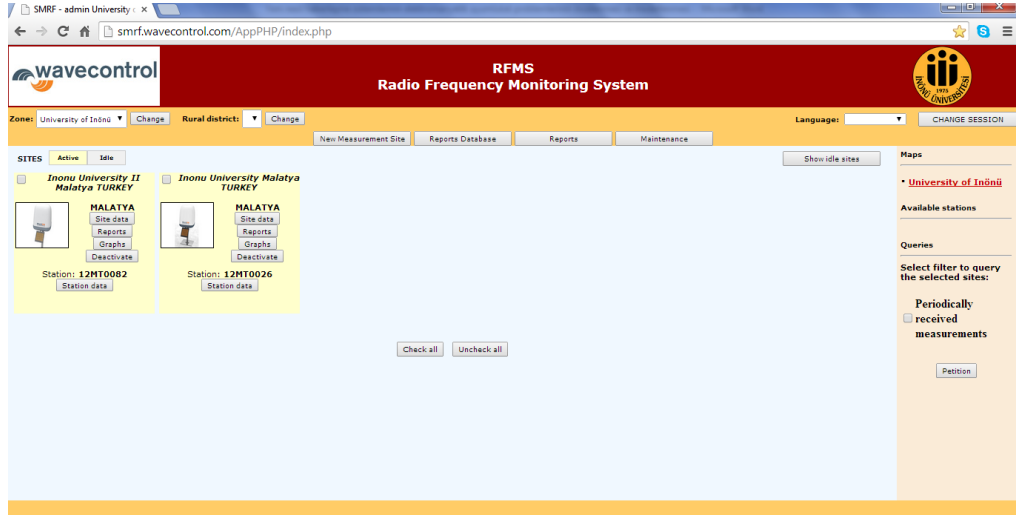
Şekil 3.5. MonitEM sisteminin ölçüm durumundaki genel görünümü

Tüm tanımlama ve senkronizasyon ayarları tamamlanmış ve fiberglas ayak üzerinde sabitlenmiş MonitEM sisteminin ölçüm durumundaki genel görünümü Şekil 3.5'te verilmiştir. İstasyon, çalışma için planlanmış noktaya konumlandırıldığı andan itibaren ölçüm yapmakta ve yapmış olduğu ölçümleri sunucuya belirlenen periyotlarda iletmektedir.

MonitEM sürekli ölçüm sistemlerinin almış oldukları ölçüm sonuçlarına internete bağlanılabilen herhangi bir cihaz ile ulaşılabilir. Bunun için ölçüm sisteminin web sayfasına bağlanılarak, kullanıcı adı ve şifre ile giriş yapılmalıdır (Şekil 3.6).

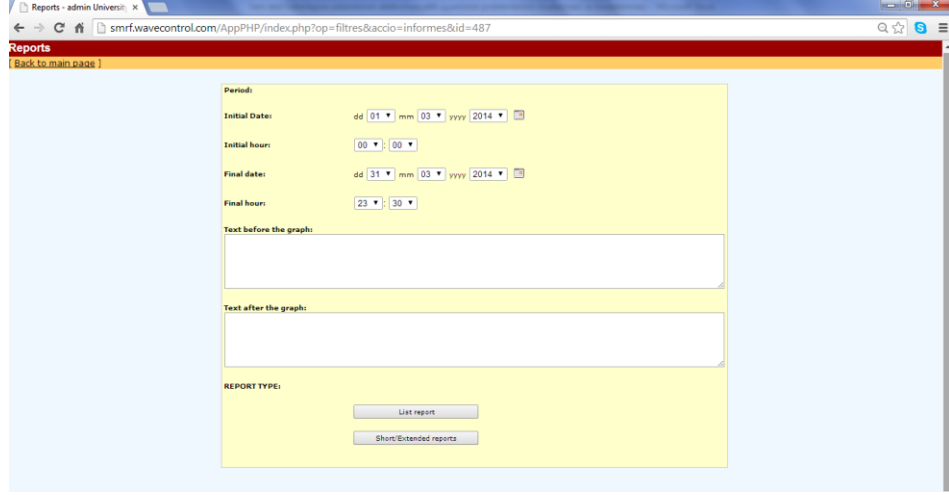


Şekil 3.6. MonitEM istasyonu ölçüm verilerine ulaşımın sağlandığı web ara yüzü



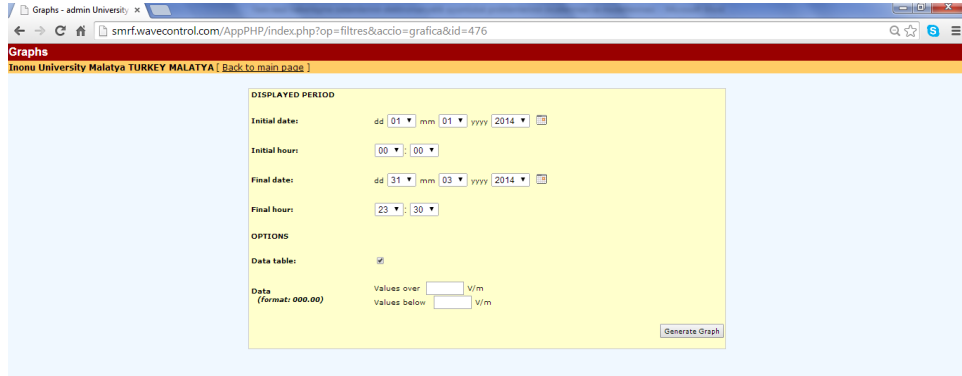
Şekil 3.7. MonitEM sistemine bağlı kullanıcı yönetim paneli

Web ara yüzüne bağlanılıp, giriş yapıldığında yönetim paneli gelmektedir (Şekil 3.7). Yönetim panelinden ölçüm sonucuna ulaşmak istenilen MonitEM seçilir. Site data bölümünden MonitEM ile ilgili koordinat, tanımlama bilgileri, sonucu ile MonitEM arasında bilgi alışverişini sağlayan operatör bilgilerinin girişleri yapılabilir. Oluşan alarmların sistem tarafından kimlere ulaştırılması isteniliyor ise ilgili mail tanımlamaları bu bölüm üzerinden yapılabilir. ‘Reports’ bölümünden istenilen tarih aralığı seçilerek özet veya genişletilmiş olarak rapor istenebilir. Böylece istenilen rapor sisteme tanımlı mail adreslerine “.PDF” formatında gönderilir (Şekil 3.8). Ayrıca bu raporlar ana sayfada bulunan ‘Report Database’e istenildiği zaman ulaşılabilmesi için kaydedilir.



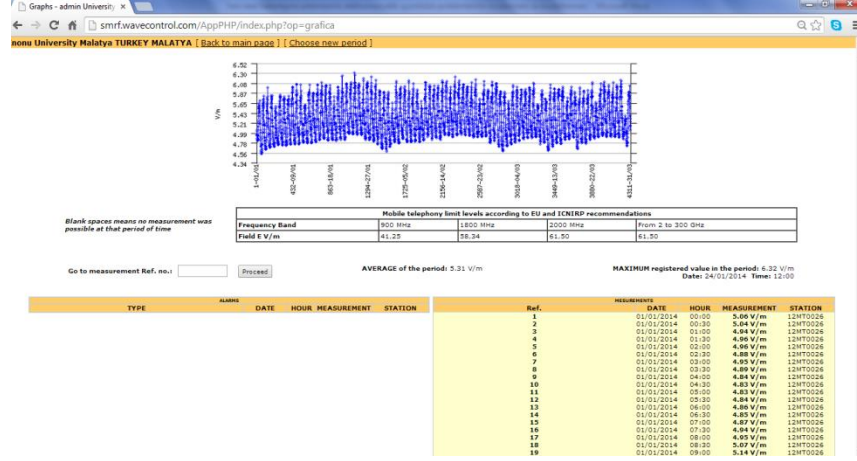
Şekil 3.8. MonitEM yönetici paneli, Reports bölümü

MonitEM yönetici panelinde, 'Graphs' bölümünden görüntülenmek istenen ölçüm periyodu için tarih aralığı seçilir, grafikle beraber tüm ölçüm sonuçlarının da listelenmesi isteniliyor ise ilgili sekme seçilir (Şekil 3.9). Gerek duyulduğu takdirde istenilen bir değerden daha düşük ve daha yüksek değerlerin listelenmesi sağlanabilir.



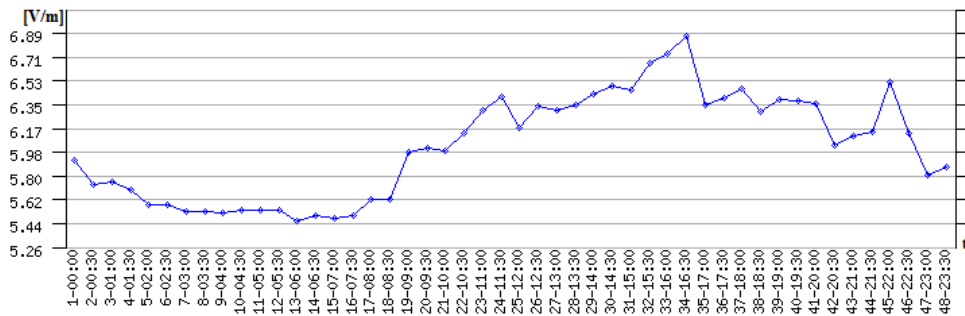
Şekil 3.9. MonitEM yönetici paneli, Graphs bölümü

'Generate Graph' seçildikten sonra istenilen periyoda ait zamanla değişen elektrik alan şiddeti E , [V/m] grafiği sistem tarafından çizilmektedir. Bunun yanında istenilmiş olan periyotta ki ortalama elektrik alan şiddeti, bu periyotta ölçülmüş en yüksek elektrik alan şiddeti değeri ve ölçümlere ait tarih ve saat bilgileri verilmektedir. Bir önceki sekmede tüm ölçüm sonuçlarının listelenme sekmesi işaretlenmiş ise sistemde tanımlı olan zaman periyoduna ait ölçüm değerleri listelenir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. MonitEM yönetici paneli, istenilen periyottaki elektrik alan ölçüm sonuçları

Şekil 3.7’de verilmiş olan MonitEM yönetici panelinden görüleceği gibi ‘Maintenance’ bölümünden, yöneticiye ve panel ile ilgili bilgilere ulaşılabilir ve her türlü değişiklik bu bölüm üzerinden gerçekleştirilebilir. Buna göre 100kHz-8GHz frekans aralığında, bir güne ait (24 saat), yarımşar saatlik periyotlar halinde 48 ortalama elektrik alan şiddeti değeri ile çizilmiş elektrik alan şiddetinin, zamanla değişim grafiği Şekil 3.11’de, ölçümlere ait değerler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde elektrik alan şiddetinde bir dalgalanma görülmektedir. Elektrik alan şiddetinin değerleri gün içerisinde değişim göstermektedir. Şehir merkezinde yapılan ölçümlerde günün mesai saatlerinde elektrik alan şiddeti artarken, akşam saatlerinde azalış eğilimi göstermektedir. Yaşam alanlarının bulunduğu toplu konut bölgelerinde yapılmış olan ölçüm sonuçlarına göre; mesai saatlerinden sonra elektrik alan şiddeti değerleri artış göstermekteyken, gece yarısı itibari ile azalış eğilimi göstermektedir. Bu değişimlerin ölçümü ve değerlendirilmesi tezin 4. kısmında açıklanacaktır. Örneğin, Şekil 3.11’den görüldüğü gibi 24 saatlik ölçüm periyodundaki en yüksek elektrik alan şiddeti $E_{max} = 6.87$ [V/m] ve ölçümün alındığı **Gün:** 31/07/2014, **Saat:** 16:30’dur.



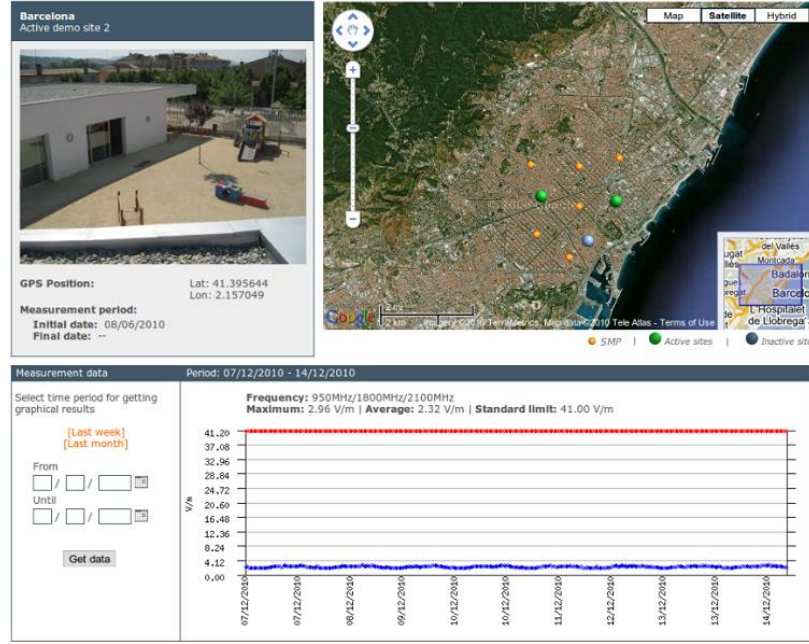
Şekil 3.11. MonitEM ile ölçülmüş 24 saatlik elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği

Çizelge 3.1. MonitEM ile ölçülmüş 24 saatlik elektrik alan şiddeti değerleri

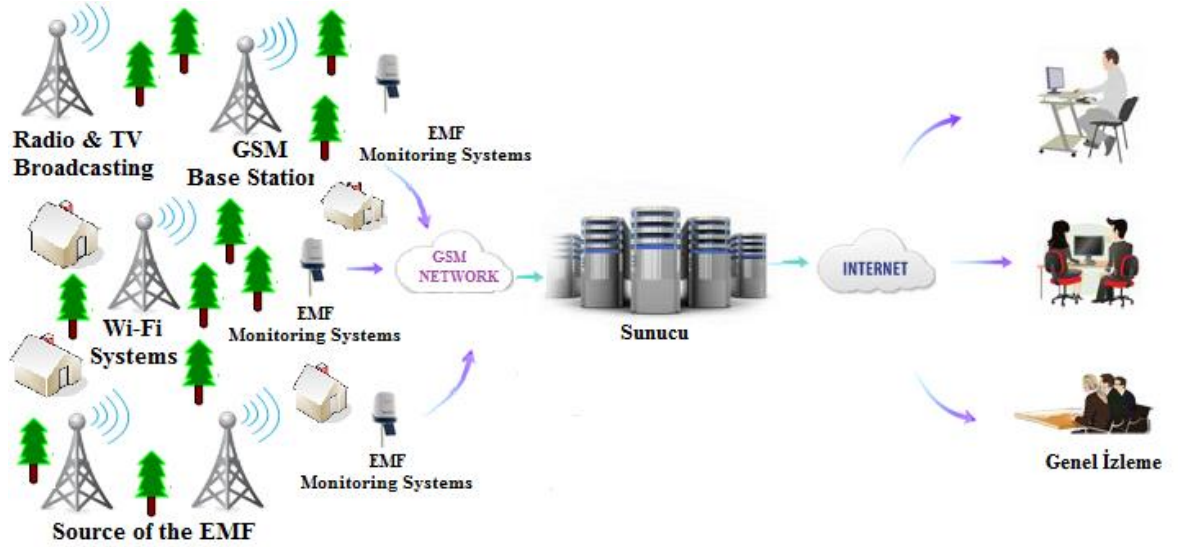
Ref.	DATE	HOUR	MEASUREMENT	STATION
1	31.07.2014	00:00	5.92 [V/m]	12MT0026
2	31.07.2014	00:30	5.74 [V/m]	12MT0026
3	31.07.2014	01:00	5.76 [V/m]	12MT0026
4	31.07.2014	01:30	5.70 [V/m]	12MT0026
5	31.07.2014	02:00	5.58 [V/m]	12MT0026
6	31.07.2014	02:30	5.58 [V/m]	12MT0026
7	31.07.2014	03:00	5.53 [V/m]	12MT0026
8	31.07.2014	03:30	5.53 [V/m]	12MT0026
9	31.07.2014	04:00	5.52 [V/m]	12MT0026
10	31.07.2014	04:30	5.54 [V/m]	12MT0026
11	31.07.2014	05:00	5.54 [V/m]	12MT0026
12	31.07.2014	05:30	5.54 [V/m]	12MT0026
13	31.07.2014	06:00	5.46 [V/m]	12MT0026
14	31.07.2014	06:30	5.50 [V/m]	12MT0026
15	31.07.2014	07:00	5.48 [V/m]	12MT0026
16	31.07.2014	07:30	5.50 [V/m]	12MT0026
17	31.07.2014	08:00	5.63 [V/m]	12MT0026
18	31.07.2014	08:30	5.63 [V/m]	12MT0026
19	31.07.2014	09:00	5.98 [V/m]	12MT0026
20	31.07.2014	09:30	6.02 [V/m]	12MT0026
21	31.07.2014	10:00	6.00 [V/m]	12MT0026
22	31.07.2014	10:30	6.13 [V/m]	12MT0026
23	31.07.2014	11:00	6.30 [V/m]	12MT0026
24	31.07.2014	11:30	6.41 [V/m]	12MT0026
25	31.07.2014	12:00	6.17 [V/m]	12MT0026
26	31.07.2014	12:30	6.33 [V/m]	12MT0026
27	31.07.2014	13:00	6.30 [V/m]	12MT0026
28	31.07.2014	13:30	6.35 [V/m]	12MT0026
29	31.07.2014	14:00	6.43 [V/m]	12MT0026
30	31.07.2014	14:30	6.49 [V/m]	12MT0026
31	31.07.2014	15:00	6.46 [V/m]	12MT0026
32	31.07.2014	15:30	6.66 [V/m]	12MT0026
33	31.07.2014	16:00	6.74 [V/m]	12MT0026
34	31.07.2014	16:30	6.87 [V/m]	12MT0026
35	31.07.2014	17:00	6.34 [V/m]	12MT0026
36	31.07.2014	17:30	6.40 [V/m]	12MT0026
37	31.07.2014	18:00	6.47 [V/m]	12MT0026
38	31.07.2014	18:30	6.29 [V/m]	12MT0026
39	31.07.2014	19:00	6.39 [V/m]	12MT0026
40	31.07.2014	19:30	6.38 [V/m]	12MT0026
41	31.07.2014	20:00	6.36 [V/m]	12MT0026
42	31.07.2014	20:30	6.04 [V/m]	12MT0026
43	31.07.2014	21:00	6.11 [V/m]	12MT0026
44	31.07.2014	21:30	6.14 [V/m]	12MT0026
45	31.07.2014	22:00	6.52 [V/m]	12MT0026
46	31.07.2014	22:30	6.13 [V/m]	12MT0026
47	31.07.2014	23:00	5.81 [V/m]	12MT0026
48	31.07.2014	23:30	5.87 [V/m]	12MT0026

Elektromanyetik Alanları Sürekli Ölçme ve İzleme Sistemi “MonitEM” baz istasyonlarının birden çok sayıda bulunduğu okul, üniversite, hastane, toplu konut bölgeleri, alışveriş merkezleri ve diğer yaşam alanları vb. özel olarak seçilmiş noktalara yerleştirilen ölçüm ve izleme sistemleri ile televizyon ve radyo vericileri, kablolu ağlar ve baz istasyonları gibi yüksek frekanslarda yayın yapan kaynakların oluşturduğu elektromanyetik alan şiddeti değerlerinin 7 gün/24 saat sürekli ölçülmesi ve alınan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Sistemin

genel olarak prensibi ve sahada kullanım örneği sırasıyla Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.12. MonitEM'in sahada kullanım örneği



Şekil 3.13. MonitEM sisteminin genel çalışma prensibi

Çalışma süresince gerek MonitEM sürekli elektromanyetik alanları ölçüm sistemi ve gerekse SMP EMF Metre ile yapılmış olan anlık ölçümlerde kullanılan probalar ve teknik özellikleri ise şöyledir; sürekli ölçüm çalışmalarında MonitEM'ler ile WPT Mobile Telephony Probe (GSM, 3G & UMTS) (Şekil 3.14) ve WPF Broad band probe (100kHz-8GHz)'lar (Şekil 3.15) kullanılmıştır.

Anlık ölçüm çalışmalarında SMP EMF Metre ile WPT Mobile Telephony Probe (GSM, 3G & UMTS) (Şekil 3.14), WPF Broad band probe (100kHz-8GHz) (Şekil 3.15) ve WPF50 Broad band probe (10Hz-3kHz)'lar (Şekil 3.16) kullanılmıştır.

Ölçümlerde GSM & UMTS frekanslarında ölçüm alan ikinci bir MonitEM istasyonu ile anlık elektromanyetik alan ölçümleri için Wavecontrol SMP EMF Metre (Şekil 3.17) kullanılmıştır. Wavecontrol SMP EMF Metre ile, WPF50 Broad band probe (10Hz-3kHz), WPF Broad band probe (100kHz-8GHz), WPT Mobile Telephony Probe (GSM, 3G & UMTS)'ları kullanarak ölçümler yapılmıştır. Aşağıda bu cihaz ve problemlerin şekilleri ve teknik özellikleri verilmiştir.

3.1.1.1. WPT Mobil iletişim ölçüm probu (GSM, 3G & UMTS)

WPT Mobil telefon probunun genel görünümü Şekil 3.14.'de verilmiştir. GSM, 3G & UMTS frekanslarında ölçüm alan bu probun teknik özellikleri ise Çizelge 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.14. GSM, 3G & UMTS frekanslarında ölçüm alan mobil telefon probunun genel görünümü

Çizelge 3.2. GSM, 3G & LTE frekansların ölçüm alan probun teknik özellikleri

Frekans Aralığı	GSM 900MHz, GSM 1800MHz, 3G ve UMTS, LTE
Sensör Tipi	Izotropik, Gerçek RMS
Ölçüm Aralığı	0.04 - 65 [V/m] (RMS)
Dinamik Aralık	> 64 dB
Hassaslık	0.04 [V/m]
Kararlılık	0.07 dB
Bantlar Arası Zayıflama	> 20 dB (1100 MHz) > 5 dB (2300 MHz)
Frekans Tepkisi	± 2 dB (GSM, 3G, UMTS bands)
Doğrusallık	$< \pm 0.4$ dB (0.2 - 50 [V/m])
İzotropik Sapma	$< \pm 1.7$ dB
Çalışma Sıcaklığı	-30°C - +80°C
Boyutlar	28.5 x 10.5 x 10.5 cm

3.1.1.2. WPF Geniş band ölçüm probu (100kHz-8GHz)

100kHz-8GHz frekans bandında ölçüm alan WPF Broad band probunun genel görünümü Şekil 3.15.'te verilmiştir. 100kHz-8GHz frekans bandında ölçüm alan probun teknik özellikleri Çizelge 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.15. 100kHz-8GHz frekans bandında ölçüm alan geniş band probunun genel görünümü

Çizelge 3.3. 100kHz-8GHz frekans bandında ölçüm alan probun teknik özellikleri

Frekans Aralığı	100kHz - 8GHz
Sensör Tipi	Izotropic, RMS diyot teknolojisi
Ölçüm Aralığı	0.2 - 130 [V/m] (CW) 0.2 - 20 [V/m] (RMS)
Dinamik Aralık	56 dB
Hassaslık	0.2 [V/m]
Kararlılık	0.02 [V/m] (up to 7.5 [V/m]) 0.1 [V/m] (from 7.5 [V/m] to 130 [V/m])
Frekans Tepkisi	±1.5 dB (250 kHz – 6.5 GHz) +0.5/-2.5 dB (6.5 GHz – 8 GHz) - 3 dB (100 kHz)
Doğrusallık	± 0.5 dB (0.5 [V/m] - 100 [V/m])
İzotropik Sapma	±1.2 dB (@ 2 GHz)
Çalışma Sıcaklığı	-20 °C to 50 °C

3.1.1.3. WPF50 Geniş band ölçüm probu (10Hz-3kHz)

10Hz-3kHz frekans bandında ölçüm alan prob, çalışmalarda SMP EMF Metre ile alçak frekans manyetik alan ölçümlerinde kullanılmıştır. 10Hz-3kHz frekans bandında ölçüm alan probunun genel görünümü Şekil 3.16'da verilmiştir. 10Hz-3kHz frekans bandında ölçüm alan probun teknik özellikleri ise Çizelge 3.4'te verilmiştir



Şekil 3.16. 10Hz-3kHz frekans bandında ölçüm alan alçak frekans probunun genel görünümü

Çizelge 3.4. 10Hz-3kHz frekans bandında ölçüm alan probun teknik özellikleri

Frekans Aralığı	10Hz-3kHz
Sensör Tipi	Izotropik, RMS Eş zamanlı elektrik ve manyetik alan ölçümü
Ölçüm Aralığı	Weighted mode (ICNIRP 2010): E field 0.025 – 200% of limit (RMS value) H field 0.025 - 200 % of limit (RMS value) Flat response mode: E field 2.5 [V/m] - 20,000 [V/m] (RMS) H field 0.25 μ T - 2,000 μ T (RMS)
Dinamik Aralık	78 dB
Hassaslık	Weighted (E,H) 0.025 % Flat response E field 2.5 [V/m] Flat response H field 0.25 μ T
Frekans Tepkisi	\pm 20% (typ.) of standard (25 Hz – 1 kHz) \pm 25% (max.)
Doğrusallık	\pm 1% (typ.) (1%-100% of standard) \pm 2% (max.)
İzotropik Sapma	\pm 5% (typ.)
Çalışma Sıcaklığı	-10 °C to 50 °C
Boyutlar	270 mm x 115 mm

3.1.2. Elektromanyetik alanları anlık ölçüm cihazı SMP EMF Metre

Anlık ölçüm çalışmalarında SMP EMF Metre ile WPT. Mobile Telephony Probe (GSM, 3G & UMTS), WPF Broad band probe (100kHz-8GHz) ve WPF50 Broad band probe (10Hz-3kHz) 'lar kullanılmıştır. SMP EMF Metre'in 100kHz-8GHz probu ile genel görünümü Şekil 3.17.'de verilmiştir. SMP EMF Metre'in teknik özellikleri ise Çizelge 3.5'te verilmiştir. Gelineen noktada 5Hz-8GHz frekans aralığındaki elektromanyetik alanların anlık ve uzun süreli ölçümlerine imkân sağlanmıştır.



Şekil 3.17. SMP EMF Metre'nin 100kHz-8GHz probu ile genel görünümü

Çizelge 3.5. SMP EMF Metre'nin teknik özellikleri

Ölçüm Fonksiyonları	
Problar	Değişebilir ve cihaz tarafından otomatik tanınır.
Ölçüm Birimleri	[V/m], k[V/m], $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, mW/cm^2 , W/m^2 , μT , T, %
Örnekleme Zamanı	Her saniyede iki ölçüm
Ölçüm Sonuçları	Toplam anlık değer, her bir eksene ait değerler, en yüksek ve en düşük değer.
Ölçüm Ortalaması	Sliding window metodunu ile uluslar arası standartlar korunarak, aritmetik ve normatif ortalama
Ölçüm Aralıkları	10 s, 30 s, 1 min, 2 min, 5 min, 6 min, 10 min, 15 min, 30 min
Hafıza	62,400 ölçüm (GPS'siz), 27,300 ölçüm (GPS ile)
Ekran	60 x 78 mm (240 x 320 pixels)
Ekran ışığı	Beyaz led
Ekran hanesi	5 dijit: 0.0001 - 99999
PC bağlantısı	Mini USB
Batarya	Dahili, şarj edilebilir Li-ion
Çalışma Süresi	10 saat (GPS açık), 14 saat (GPS kapalı)
Çalışma Sıcaklığı	-10 °C to +45 °C
Boyutlar	100 x 215 x 40 mm probsuz

3.1.3. Spektrum analizörü spectran NF-5030 ve HF-60100 v.5

Tüm bu geniş banttaki elektromanyetik alan kaynaklarının frekanslarının tespit edilebilmesi için Aaronia marka Spectran NF-5030 (1Hz-1MHz) ve Spectran HF-60100 v.5 (1MHz-9.4GHz) spektrum analizörleri 2013/45 kodlu doktora projesiyle

çalışmaya dâhil edilmiştir. Böylece ölçüm aralığını da içerisinde alan 1Hz-9.4GHz gibi oldukça geniş bir frekans aralığında spektrum analizi yapılmasına imkân sağlanmıştır. Spectran NF-5030 HF-60100 v.5'in genel görünümü Şekil 3.18.'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Spectran NF-5030 HF-60100 v.5'in genel görünümü

Spectran HF-60100 v.5, Radio & TV, Tetra/BOS, ISM434, ISM800, ISM868, GSM900, GSM1800, GSM1900, DECT, UMTS, WLAN, Microwave, Bluetooth, WiFi, LTE 2.6, WiMAX, Directional Radio, 5GHz WLAN, PAR Radar frekanslarında, dBm, dB μ V, [V/m], A/m, W/m² brimlerinde ölçümlerini alabilir. Spectran HF-60100 v.5'in teknik özellikleri ise Çizelge 3.6.'da, Spectran NF-5030'un teknik özellikleri ise Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Spectran HF-60100 v.5'in teknik özellikleri

Frekans Aralığı	1MHz-9.4GHz
Sensör Tipi	Izotropic, RMS Eş zamanlı elektrik ve manyetik alan ölçümü
DANL (Displayed Average Noise Level)	-155dBm(1Hz)
Max Power at RF input	+40dBm
RBW (bant genişliği çözünürlüğü) (min)	200Hz
RBW (bant genişliği çözünürlüğü) (max)	50MHz
Alınabilen ölçümler	RMS/Min/Max
Ölçüm Birimleri	dBm, dB μ V, [V/m], A/m, W/m ²
Dahili Hafıza	1MB
En düşük örnekleme zamanı	5mS

Çizelge 3.7. Spectran NF-5030'un teknik özellikleri

Frekans Aralığı	1Hz-1MHz
Sensör Tipi	Izotropic, RMS Eş zamanlı elektrik ve manyetik alan ölçümü
Elektrik Alan [[V/m]] (min)-(max)	0.1 [V/m] – 20k[V/m]
Manyetik Alan [Tesla] (min)-(max)	1pT-2mT
Manyetik Alan [Gauss] (min)-(max)	10nG-20G
RBW (bant genişliği çözünürlüğü) (min)	0.3Hz
RBW (bant genişliği çözünürlüğü) (max)	1MHz
Ölçüm Birimleri	V,dBV
Alınabilen ölçümler	RMS/Min/Max
En düşük örnekleme zamanı	10mS

Spectran NF-5030 ve HF-60100 v.5 üzerlerinde bulunan mini usb giriş ile Windows, MacOSX ve Linux işletim sistemlerinde çalışan MCS Realtime Spectrum Analyzer Software ile anlık yapılan ölçümler görsel ve detaylı bir şekilde izlenebilmektedir. Spektrum el ünitelerinin hafızaları kısıtlı olduğundan bilgisayara bağlanarak uzun süreli ölçme ve izleme de yapılabilir.

3.1.4. Elektrik ve manyetik alan analizörü Narda EHP 50D (5Hz-100kHz)

Narda EHP 50D, dâhili elektrik ve manyetik alan sensörleri ile, 150 dB dinamik aralığında, izotropik ölçüm ile 5Hz'den, 100 kHz'e kadar elektromanyetik alan analizi yapabilmektedir. Küçük boyutlu olması itibari ile çalışmalarda kullanım ve hareket kabiliyeti sağlamaktadır. Anlık ölçüm ve izlemeler için fiber optik bağlantı ile bilgisayara bağlanabilmektedir. Genişbant ölçüm modu ile ölçüm bandındaki elektrik ve manyetik alan dağılımlarının grafiksel olarak izlenilmesine imkân sağlamaktadır. Dâhili şarj edilebilir bataryası ile uzun çalışma süresine sahiptir. 24 saat sürekli ölçüme uygundur. Dâhili hafızasında ölçümleri istenilen birimde tutabilmektedir. Uluslararası kabul gören IEC, CENELEC, ICNIRP gibi kuruluşların ölçüm standartlarına uygundur. Elektrik ve Manyetik Alan Analizörü Narda EHP 50D'nin teknik özellikleri Çizelge 3.8.'de, analizörün genel görünümü ise Şekil 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.8. Elektrik ve Manyetik Alan Analizörü Narda EHP 50D'nin teknik özellikleri

	Elektrik Alan	Manyetik Alan
Frekans Aralığı	5Hz-100kHz	
Ölçüm Aralığı	5 m[V/m] ÷ 1 k[V/m] 500 m[V/m] ÷ 100 k[V/m] (total measurement range: 146 dB)	0.3 nT ÷ 100 µT 30 nT ÷ 10 mT (total measurement range:150 dB)
Dinamik Aralık	106 dB	110 dB
Aşırı Yük	200 k[V/m]	20 mT
Kararlılık	1 m[V/m] with NBM-550 0.1 m[V/m] with EHP-TS software 1 m[V/m] in Stand Alone mode	0.1 nT with NBM-550 0.1 nT with EHP-TS software 1 nT in Stand Alone mode
Displayed Average Noise Level Isotropic result Single axis	5 m[V/m] 3 m[V/m]	0.3 nT 0.2 nT
Doğrusallık	0.2 dB (1 [V/m] ÷ 1 k[V/m])	0.2 dB (200 nT ÷ 10 mT)
Ölçüm kaydetme aralığı	30 & 60 Saniye	
Sürekli Ölçüm zamanı	24 saat	



Şekil 3.19. Elektrik ve Manyetik Alan Analizörü Narda EHP 50D'nin genel görünümü

3.1.5. Selektif radyasyon ölçüm cihazı Narda SRM-3006

SRM-3006 (Selektif Radyasyon Metre) 9kHz - 6GHz frekans aralığında yüksek frekanslı elektromanyetik alanların güvenlik analizlerini ve çevresel ölçümlerini yapmaya yarayan, elde taşınarak kullanılabilecek büyüklükte bir frekans seçici (selektif) ölçüm sistemidir. Bu büyüklükte frekansları olan sinyallerin dijital olarak örneklenmesi çok güç olduğu için, SRM-3006 hem analog, hem de dijital sinyal işlemeyi birlikte kullanır. Radyo yayınları (AM, FM), TV (analog, DVB-T), BOS (Tetra), mobil iletişim (GSM, UMTS), radar ve kablosuz iletişim (WiMax, WLAN) gibi yüksek frekanslı elektromanyetik alanların mutlak ve sınır değerlerinin ölçümü için idealdir. Birçok mobil telefon servis sağlayıcının ortak anten gruplarını, kullandıkları paylaşılan mekânlar olarak adlandırılan yerler ve ihtiva ettikleri alanların bilinmediği benzeri ortamlarda, SRM-3006 hem toplam alan seviyesi hem de her bir tekil servis sağlayıcının toplam içindeki payını gerek mutlak değer gerekse izin verilen seviyenin yüzdesi olarak gösterir. SRM-3006 ölçüm sistemi SRM-3006 ana birimi ve üç eksenli antenden oluşur. Tez çalışmasında üç eksenli, 27MHz - 3GHz frekans aralığında, elektrik alan ölçümü yapan ölçüm probu kullanılmıştır. Selektif Radyasyon Metre Narda SRM-3006'nın genel görünümü Şekil 3.20'de, teknik özellikleri ise Çizelge 3.9.'da verilmiştir.



Şekil 3.20. Selektif Radyasyon Metre Narda SRM-3006

Çizelge 3.9. Selektif Radyasyon Metre Narda SRM-3006'nın teknik özellikleri

Frekans menzili	27 MHz – 3 GHz Kalibrasyon sırasında ayrı ayrı belirlenen ve EEPROM'a kaydedilen düzeltme faktörleri, SRM–3006 ana ünite ile birlikte kullanıldığında otomatik olarak uygulanır.
Anten tipi	E-alanı
Algılayıcı tipi	Taranan eksenlerle birlikte üç eksenli tasarım
Dinamik menzil ¹	0.2 m[V/m] – 200 [V/m]
CW hasar seviyesi	435 [V/m] veya 50 mW/cm ²
SRM–3006 ana ünite ile birlikte açığa çıkan iç gürültü (tek eksenin ayrı ölçümü) ²	• 1 kHz çözünürlük bant genişliği ile (RBW) 900 MHz'de 25 µ[V/m] • 1 kHz çözünürlük bant genişliği ile (RBW) 2.1 GHz'de 40 µ[V/m]
SRM–3006 ana ünite ile birlikte açığa çıkan iç gürültü (izotropik sonuç için) ²	• 1 kHz çözünürlük bant genişliği ile (RBW) 900 MHz'de 40 µ[V/m] • 1 kHz çözünürlük bant genişliği ile (RBW) 2.1 GHz'de 70 µ[V/m]
Ölçüm menzili sınırı (tekli CW sinyali)	• 300 [V/m] • f = 110 MHz için 1000 [V/m]
Maksimum ölçüm menzili (SRM–3006 ana ünite ile birlikte açığa çıkan) ²	200 [V/m] (27 MHz ila 3 GHz toplam genişliği için sınırlama olmaksızın)
RF konektörü	N konektör, 50 Ω
1) 10 db sinyal için dinamik menzil genel menzilin gürültü oranına ölçümü (RBW = 1 kHz); 800 MHz ila 1.8 GHz 2) Genel değerler	

3.2 Yöntem

3.2.1 Yapay sinir ağları (YSA/ANN)

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen sistemlerdir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zor veya mümkün değildir. O nedenle, yapay sinir ağlarının, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir [114]. Yapay sinir ağları, gerçekleştirilmiş

örnekleri (gerçek beyin fonksiyonlarının ürünü olan örnekleri) kullanarak olayları öğrenebilir ve çevreden edinilen verilere karşı nasıl sonuçlar üreteceğini belirleyebilir. İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde, modelleme, öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme, optimizasyon gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur ve daha sonra, benzer konularda benzer kararları verirler [114]. Genel olarak matematiksel modelleri oluşturulamayan veya matematiksel modelleri çok zor tanımlanabilen problemlerin çözümü için kullanılır.

Veri işleme veya proses elemanlarının (nöronların) bir ağ yapısı tanımlayacak şekilde birbirlerine bağlanmaları fikri beyin hücrelerinin birbirleriyle olan bağlantılarından esinlenerek gerçekleştirilmiştir. Teknik olarak, bir yapay sinir ağı kendisine gösterilen bir girdi setine karşılık gelebilecek bir çıktı seti belirler. YSA, bir sisteme ilişkin tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile sistemin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıktıları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal bir formda olması zorunlu değildir. YSA'lar, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine uygun çıkışlar da üretebilirler. Bunun yapılabilmesi için ağ, ilgili olayın örnekleri ile eğitilerek (öğrenme) genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulur. Bu genelleme ile benzer olaylara karşılık gelen çıktı setleri belirlenir [114].

Yapay sinir ağlarının karakteristik özellikleri uygulanan ağ modeline göre değişmektedir. Programları, çalışma stili bilinen programlama yöntemlerine benzememektedir. Yapay sinir ağları örnekleri kullanarak öğrenirler. Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekmektedir. Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler. Şekil (örüntü) ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler. Örüntü tamamlama gerçekleştirebilirler. Kendi kendini organize etme ve öğrenebilme yetenekleri vardır. Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler. Hata toleransına sahiptirler. Belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilmektedirler. Dereceli bozulma (*Graceful degradation*) gösterirler. Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler. Bu özelliklere ek olarak geliştirilmiş olan her modelin kendisine özgü özellikleri olabilmektedir.

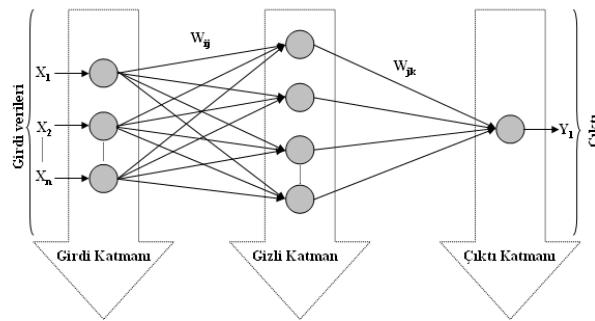
Geleneksel bilgisayar yazılım teknolojisi ile çözülemeyen birçok problemin yapay sinir ağları ile çözülebileceği görülebilir. Mesela yapay sinir ağları, eksik,

normal olmayan, belirsiz bilgileri işleyebilen en güçlü problem çözme tekniğidir denirse yanlış olmaz.

Yapay sinir ağlarının klasik sistemlere göre sağladıkları avantajlar; doğrusal olmama, öğrenme, genelleme yapma, adaptasyon, veri işleme, hataya ve gürültüye karşı duyarlılık ve tolerans olarak belirtilebilir [115]. Yapay sinir ağlarının yukarıda belirtilen birçok avantajlı özelliklerinin yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Yapay sinir ağlarının donanım bağımlı çalışmaları önemli bir sorun olarak görülebilir. Probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi genellikle deneme yanılma yolu ile yapılmaktadır bu ise önemli bir problemdir. Bazı ağlarda ağın parametre değerlerinin (mesela öğrenme katsayısı, her katmanda olması gereken proses elemanı (yapay hücrelerin) sayısı, katman sayısı vb.) belirlenmesinde de bir kural olmaması diğer bir problemdir. Ağın öğreneceği problemin ağa gösterimi de çok önemli bir problemdir. Ağın eğitiminin ne zaman bitirileceğine karar vermek için de geliştirilmiş bir yöntem yoktur. Bir diğer sorun ise, ağın davranışlarının açıklanamamasıdır.

Bütün bu dezavantajlara rağmen yapay sinir ağları kullanılarak her problem için değişik şekillerde çözümler üretilebilmekte ve başarılı uygulamalar oluşturmak mümkün olabilmektedir [114]. Günümüzde yapay sinir ağları birçok biyolojik, sinyal görüntüleme, robot teknolojisi, optimum kontrol, tıp ve bir çok diğer alanlarda başarıyla kullanılmaktadır. YSA'lar birçok önemli mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanılmıştır [114].

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağını oluştururlar. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rasgele olmaz. Genel olarak hücreler 3 katman halinde -ki bunlar girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanı- ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Temel üç katmanlı Yapay Sinir Ağı (YSA) mimarisi

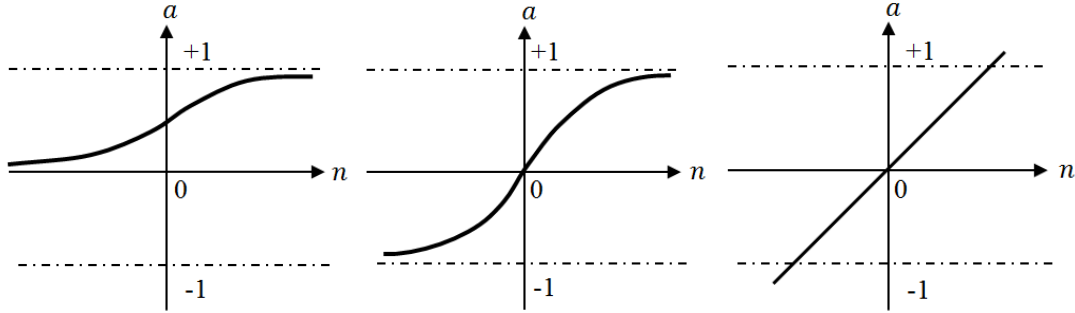
YSA' larla çözümlenemeyecek problem sayısı çok azdır. Bunun başarılabilmesi için ise, YSA uygulamalarında uygun metodolojii belirlemede çok önemlidir. Uygulamaların başarısı bu metodolojinin en iyi bir şekilde belirlenmesiyle artacaktır. Başarılı bir tasarımda, uygun olan yapıyı seçme, bu yapıya uygun öğrenme algoritmasını ve uygulanan algoritmanın uygun parametrelerini seçme, seçilen yapıya uygun giriş, ara katman ve çıkış sayılarını belirleme, ara katman nöron sayılarını yeteri kadar seçme, seçilen nöronlarda kullanılacak aktivasyon fonksiyonunu belirleme, eğitim ve test setlerini ve bu setlerde kullanılacak olan normalizasyon seviyelerini belirleme oldukça önemlidir. Ağıın büyüklüğü, öğrenme seviyesi ve ağırlıkların sınırlandırma seviyeleri de bir YSA performansını ve genelleme kabiliyetini etkileyen ana faktörlerdir.

3.2.1.1. Yapay sinir ağlarının çalışmadaki uygulaması

YSA tekniğı ile bir problemin modellenmesindeki en önemli nokta, probleme en iyi çözüümü sağlayacak en uygun ağ mimarisini belirlemek olduğu yukarıda belirtilmiştir. Gizli katman sayısının ve gizli katman/katmanlardaki nöron sayısının belirlenmesi model güvenilirliğı açısından oldukça önemlidir. Girdi ve çıktı katmanındaki nöron sayısı modellemede kullanılacak olan parametre sayısına eşitken, gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki işlem elemanı sayısı modellenecek problemin zorluğuna göre farklılık göstermektedir. Modellenmek istenen problemdeki veriler arasındaki ilişki karmaşıklıktıkça oluşturulacak olan ağ mimarisindeki gizli katman sayısı ve her bir katmandaki nöron sayısı genellikle artmaktadır.

YSA ile herhangi bir problemin modellenmesinde olduğu gibi, YSA'nın girdi katmanında dış dünyadan alınan veriler ağa tanıtılmıştır. Gizli katman/katmanlar ve çıktı katmanında ise kendisinden önceki katmandan gelen veriler işlem elemanları arasındaki ağırlıklar (w) ile çarpılarak toplama fonksiyonu $(y = \sum_{i=1}^m w_i * x_i)$ yardımıyla ağırlıklı ortalamaları alındıktan sonra transfer fonksiyonu aracılığı ile uygun çıktılara dönüştürülmüştür. Gizli katman sayısı ve bu katman/katmanlardaki nöron sayısının deneme yanılma yoluyla değıştirilmesi ile oluşturulan YSA yapılarından probleme en iyi çözüümü veren yapı, YSA tahminleri ile geçek değerlerin karşılaştırılması sonucu en uygun YSA mimarisi belirlenmiştir.

En yaygın olarak kullanılan transfer fonksiyonları logaritmik sigmoid (*logsig*), tanjant sigmoid (*tansig*) ve lineer (*purelin*) transfer fonksiyonlarıdır ve sırasıyla 3.1, 3.2 ve 3.3 eşitliklerinde gösterilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Logaritmik sigmoid (*logsig*), tanjant sigmoid (*tansig*) ve lineer (*purelin*) transfer fonksiyonları

$$y_i = \frac{2}{1 + e^{-z_i}} \quad 3.1$$

$$y_i = \frac{1}{1 + e^{-z_i}} \quad 3.2$$

$$y_i = z_i \quad 3.3$$

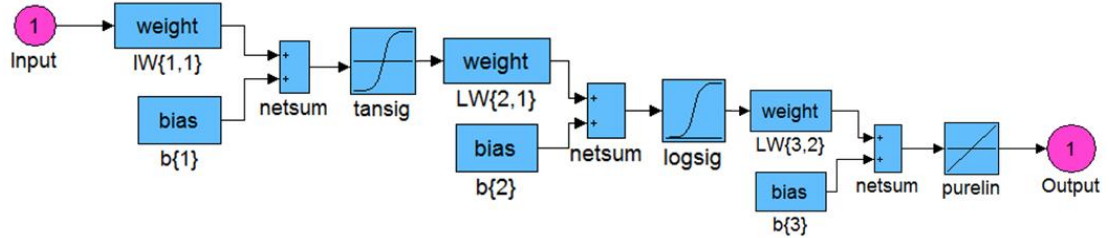
3.1, 3.2, 3.3 eşitliklerinde, z_i katmanlarda yer alan nöronların girdileridir. y_i , z_i 'den hesaplanan nöron çıktılarıdır. Transfer fonksiyonları bir katmanın girdilerinden çıktıları hesaplar. Bu çalışmada geliştirilen YSA, 3 katmanlı ileri beslemeli ve geriye yayımlı algoritma kullanan bir ağ mimarisine sahiptir. Girdi katmanında 6 nöron, gizli katmanda 30 nöron ve çıktı katmanında 1 nöron kullanılmıştır. İlk katmanda *tansig*, ara katmanda *logsig* ve çıktı katmanında *purelin* transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Gizli katman sayısı ve katmanlardaki nöron sayısı deneme-yanılma ile belirlenmiştir. Ağın eğitimi ve ağırlıkların ayarlanmasında hızlı cevap veren ve çok tercih edilen Levenberg-Marquardt optimizasyon yöntemi seçilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda toplam 3286 veri elde edilmiş ve bu veriler ağa tanıtılmadan önce normalize edilmiştir. Normalizasyon işlemi genellikle model başarısını arttırmaktadır. Düzenlenen veriler gelişigüzel olarak iki ayrı kısma bölünmüştür.

Tüm verilerin %70'i (2300 veri) ağın eğitimi için, geriye kalan 986 veri ise modeli test etmek için kullanılmıştır. Verilerin istatistiksel değerlendirilmesi Çizelge 3.10'da verilmiştir. YSA ve ÇDR modellerinin girdileri 6 değişkenden oluşmuştur. Bunlar; ay, gün, saat, ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), nem % ve global solar enerji W/m^2 olarak sıralanabilir. Elektrik alan şiddeti $[\text{V/m}]$ çıkış değişkeni olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.10. Deneysel verilerin istatistiksel değerlendirmesi

	Ay	Gün	Saat	Ortalama Sıcaklık [°C]	Ortalama Nem [%]	Güneş Radyasyonu [W/m ²]	Elektrik Alan Şiddeti [V/m]
En Düşük	1.0	1.0	0.0	-3.9	6.1	0.0	3.46
En Yüksek	6.0	31.0	23.0	30.2	100.0	61581.4	4.8
Ortalama	3.6	15.4	11.5	12.4	46.5	11898.8	4.3

YSA modelinin geliştirilmesinde MATLAB ve Neural Network Toolbox'tan yararlanılmıştır. MATLAB ortamında yazılan kodlar yardımıyla veri seti ağa tanıtılarak eğitim gerçekleştirilmiş, en uygun ağ mimarisi ortaya konmuş ve ağ yapısı kayıt altına alınarak model oluşturulmuştur. Geliştirilen model ağın görmediği test verileri ile sınanarak model başarısı istatistiksel tekniklerle ölçülmüştür. Matlab ortamında kodlanan YSA modelinin şeması Şekil 3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.23. ANN Modelin Şematik Diyagramı

3.2.2. Çok değişkenli regresyon (ÇDR/MLSR)

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla yapılır. Bu analiz tekniğinde iki (basit regresyon) veya daha fazla değişken (çoklu regresyon) arasındaki ilişki açıklamak için matematiksel bir model kullanılır ve bu model regresyon modeli olarak adlandırılır.

Bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin yer aldığı regresyon modellerine çok değişkenli regresyon analizi denir. Çok değişkenli regresyon

analizinde bağımsız değişkenler eş zamanlı olarak (aynı anda) bağımlı değişkendeki değişimi açıklamaya çalışmaktadır. Hesaplama ve yorum bakımından tek değişkenli regresyon analizine benzemektedir. Çok değişkenli regresyon analizinin yorumu tek değişkenli regresyon analizine benzemektedir. Ancak bazı farklılıklar vardır. Örneğin, tek değişkenli regresyon analizindeki karşılığı çoklu regresyon katsayısı R (multiple R) olarak ifade edilmektedir. Çoklu regresyon katsayısı R , bir bağımlı değişkendeki değişim ile eşzamanlı (aynı anda) ele alınan birden fazla bağımsız değişkendeki değişim arasındaki ilişkinin derecesini göstermektedir. Daha basit bir ifade ile, bağımlı değişken ile birlikte ele alınan bir grup bağımsız değişkendeki değişimin ilişkisinin (korelasyonunun) bir göstergesidir.

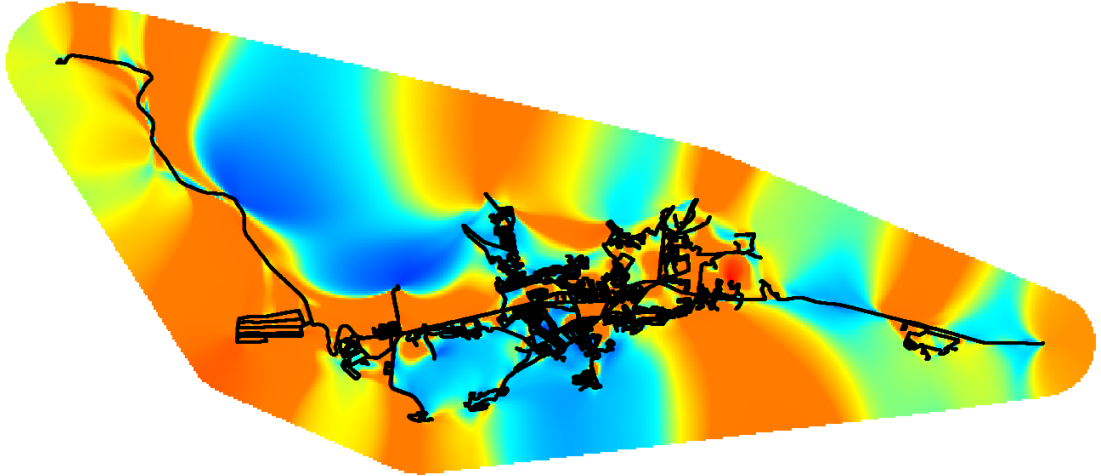
3.2.3. Elektromanyetik alan uyumluluk haritaları

Seçilmiş olan pilot bölgelerde elektromanyetik uyumluluk haritalarının oluşturulmasında öncelikle anlık elektrik alan şiddeti değerleri, ölçüm yapılan noktanın koordinatlarıyla birlikte alınmıştır. Böylelikle her ölçüm noktasına ait koordinat bilgisi ve elektrik alan şiddeti değerleri Microsoft Excel formatında derlenmiştir. Derlenmiş olan veriler Map Info v9.5 programı kullanılarak öncelikle ölçümün yapılmış olduğu güzergâh hattı (Gridler) çizilmiştir. Sonrasında bu hat üzerinde ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti değerleri dâhil edilmiştir. Haritaların oluşturulmasında Natural Neighbour (Doğal Komşuluk) Interpolasyon yöneti kullanılmıştır. Elektromanyetik alan uyumluluk haritalarında mavi bölgeler, elektrik alanın düşük olan seviyelerini, kırmızı olan bölgeler elektrik alanın yüksek olan seviyelerini göstermektedir. Elektrik alan şiddeti değeri harita üzerinde mavi renkten kırmızı rene doğru artmaktadır.

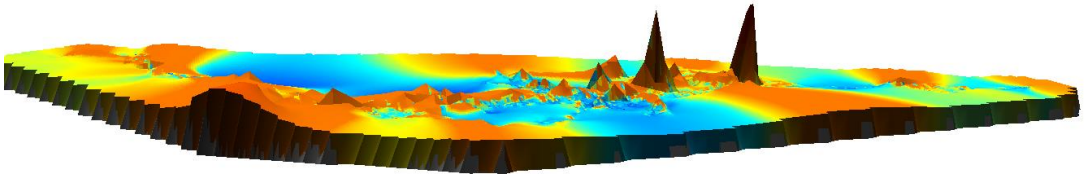
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. BTK Tarafından 2010 Yılında Malatya Şehrinde Yapılmış Olan Anlık Ölçümler

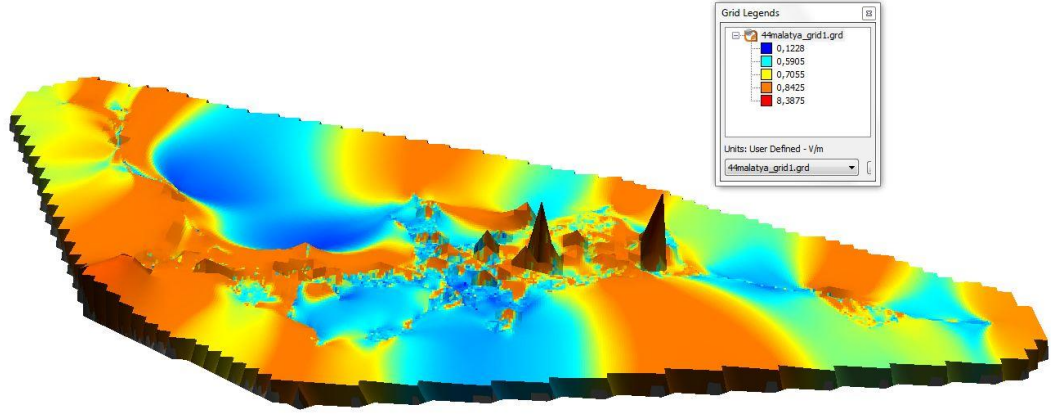
2010 yılı ekim ayında BTK tarafından yapılan, Malatya şehrini kapsayan ve elektromanyetik alan kirliliğinin tespitini amaçlayan ölçümlerle Malatya şehir merkezi sınırları içerisinde nüfusun yoğunluklu olduğu yaşam alanlarında Narda EMR300 cihazı ile 100kHz-2,45GHz frekans aralığında ölçümler alınmıştır. 654 noktada alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş elektrik alan uyumluluk haritaları aşağıdaki Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilmiştir. Kırmızı renk tonları elektrik alan şiddeti değerinin yüksek olduğu, mavi renk tonları ise düşük olduğu bölgeleri ifade etmektedir. Yapılmış olan çalışmada esasen şehir merkezi olan bölgede elektrik alan şiddeti seviyelerinin yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1). Üç boyutlu elektromanyetik alan uyumluluk haritası incelendiğinde şehir merkezi olan bölgedeki yüksek frekanslı elektrik alan değerleri dikkat çekmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.1. Malatya şehir merkezinde, 100kHz-2,45GHz frekans aralığında alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası ve izlenen güzergâh



Şekil 4.2. Malatya şehir merkezinde, 100kHz-2,45GHz frekans aralığında alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 3D elektrik alan uyumluluk haritası ve izlenen güzergâh



Şekil 4.3. Malatya şehir merkezinde, 100kHz-2,45GHz frekans aralığında alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 3D elektrik alan uyumluluk haritası ve ölçüm değeri renk skalası

Çizelge 4.1. 2010 yılında Malatya ilinde anlık elektrik alan şiddeti değerlerinin yüzdelik dağılımı

Malatya	Toplam Ölçüm	0-1 [V/m]	1-3[V/m]	3-5[V/m]	5-6[V/m]	6-9[V/m]
		Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde
2010 BTK	654	280 / %42.81	296 / %45.26	67 / %10.24	8 / %1.22	3 / %0.46

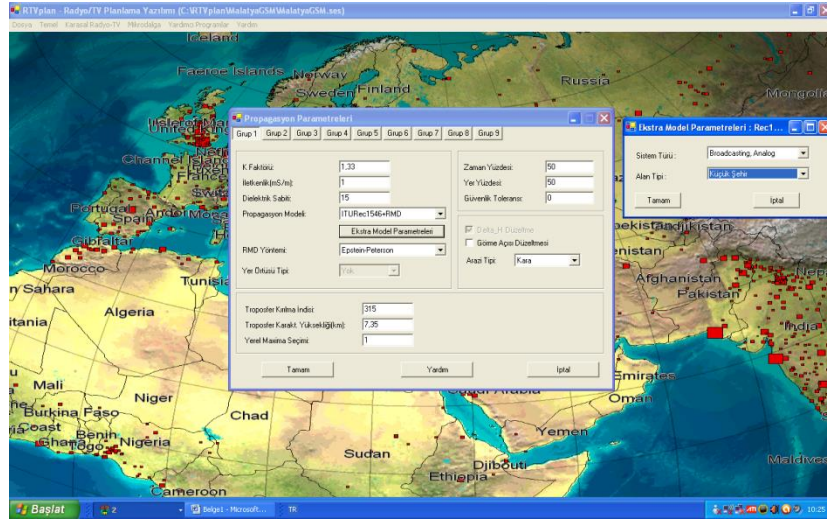
Alınmış olan ölçüm sonuçlardan görülmektedir ki ölçümlerin %45.26'sı 1-3V/m aralığındadır, ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max} = 8.3875V/m$ 'dir. Tüm bu değerler Türkiye'de kabul edilen, ulusal ve uluslar arası kuruluşların belirlemiş oldukları standart değerlerin altındadır [87-91].

4.2 Malatya Şehrinde Bulunan Baz İstasyonlarının Kapsama Alanı Simülasyonu

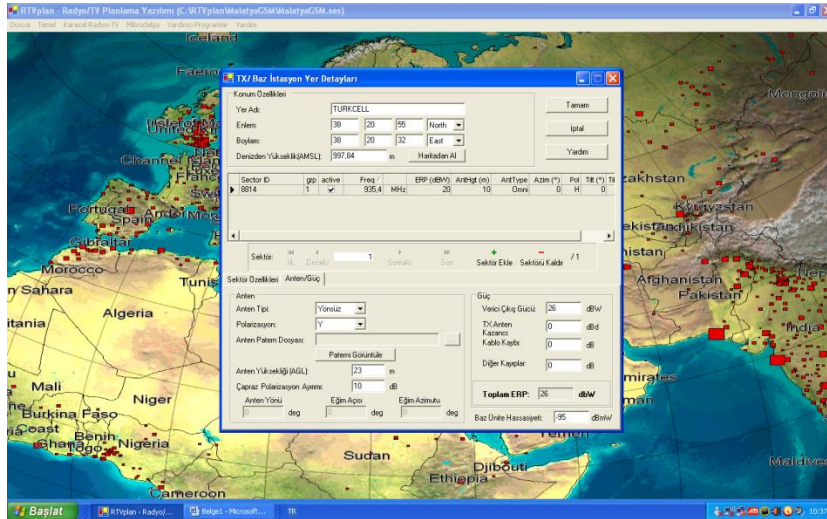
Doktora Tez çalışmaları kapsamında 01-31 / 08 / 2011 tarihleri arasında bir ay süre ile Ankara'da yer alan BTK'ya bağlı olan Piyasa Gözetimi ve Denetimi Laboratuvarı'nda misafir araştırmacı olarak çalışma yürütülmüştür. Bir ay süren çalışma kapsamında Türkiye'de yetkilendirme, denetim ve standardizasyonu sağlayan Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumunun işleyişi, çalışma alan ve imkânları hakkında bilgi edinilmiştir. Çalışma kapsamında kurumun kullanmış olduğu RTV Plan programı ile Malatya ilinde yer alan baz istasyonlarının kapsama alanı simülasyonu çıkarılmıştır. Bunun için Malatya ilinde yer alan baz istasyonlarının koordinatlarıyla birlikte çalışma frekansları, anten yüksekliği, çıkış gücü, kazancı ve yönü RTV plan programına girilerek, bu istasyonların mevcut

durumlarıyla ortamdaki fiziki şartlar (bina, orman, göl vb) göz önüne alınmadığı durumda bölgedeki elektromanyetik alan dağılımları incelenmiş ve yapılan çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

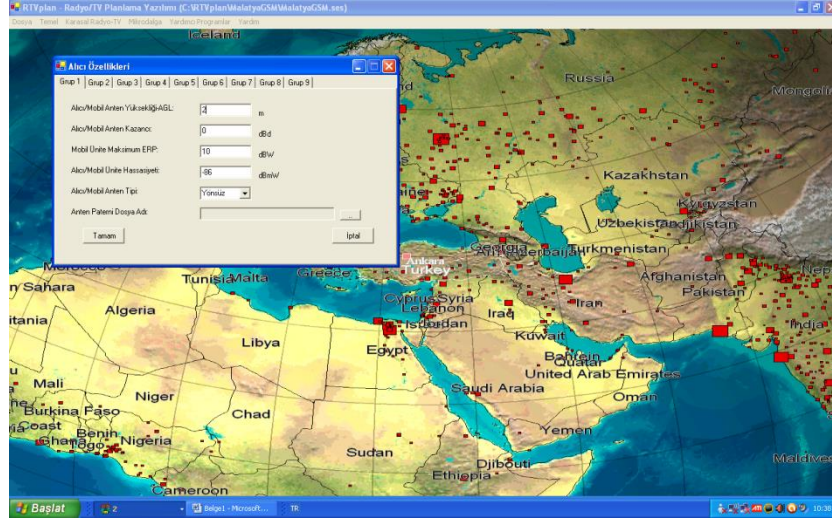
Çalışmanın yapılacağı bölgenin ve bu bölgede bulunan kaynakların yukarıda belirtilmiş olan özelliklerine göre sisteme girişleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.4 Çalışmanın yapılacağı bölgenin seçimi



Şekil 4.5. Çalışmanın yapılacağı bölge ile ilgili verilerin girişi



Şekil 4.6 Çalışmanın yapıldığı bölgedeki kaynak bilgilerinin girişi

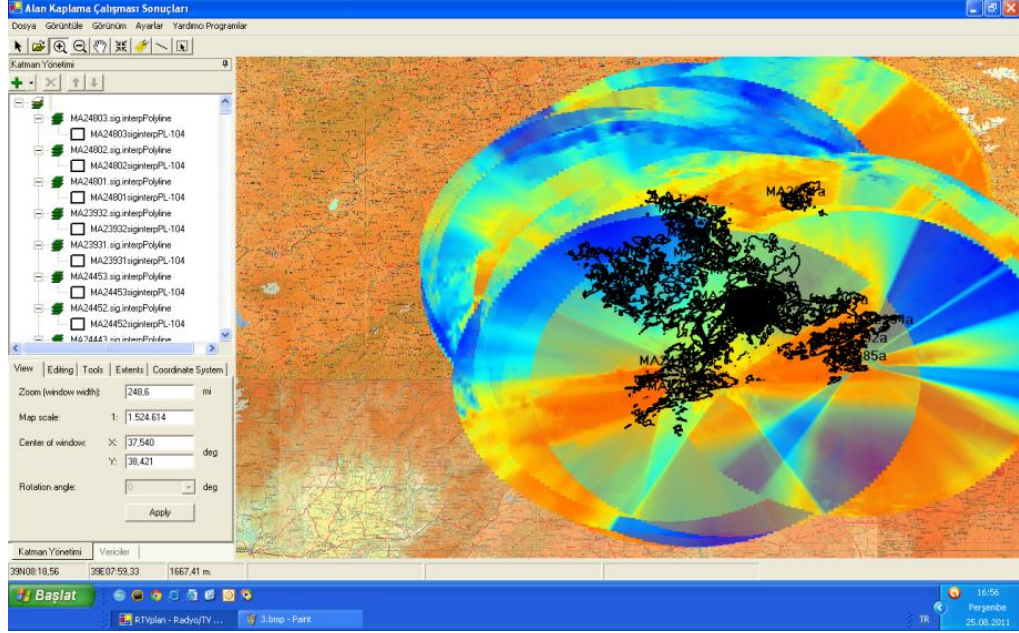
Tüm veriler (kaynakların çalışma frekansları ve koordinatlarıyla birlikte, anten yüksekliği, çıkış gücü, kazancı ve yönü) RTV Plan simülasyon programına girildikten sonra, program girilen verileri yaklaşık bir gün süren bir derlemeyle değerlendirmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre veriler girildikten sonra Malatya şehir merkezinde üç operatöre ait baz istasyonlarının fiziki haritadaki görünümü Şekil 4.7’de verilmiştir.



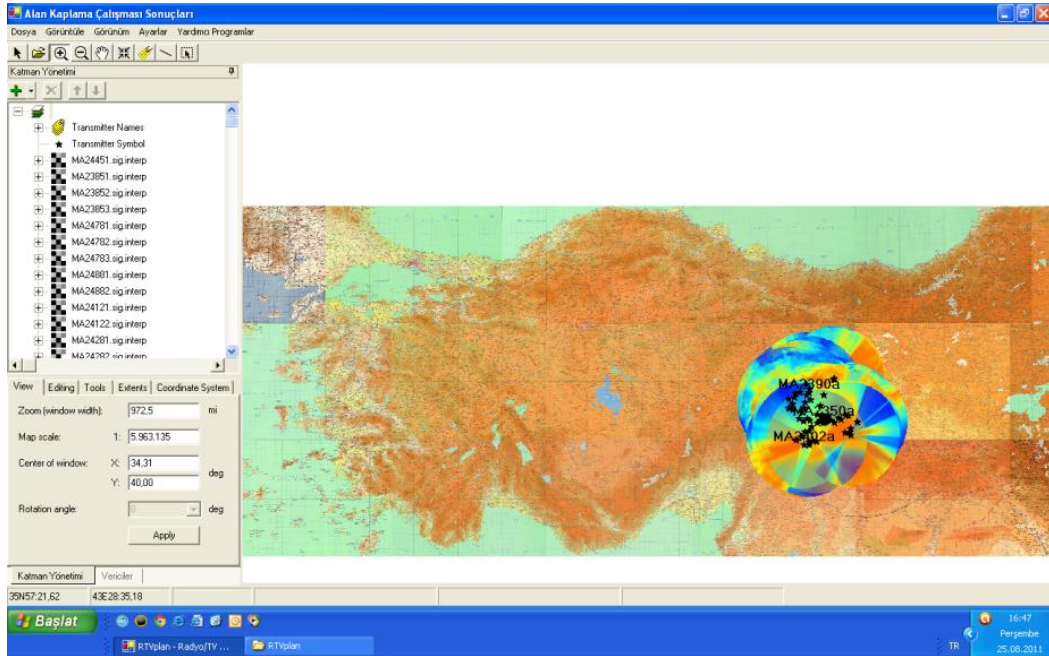
Şekil 4.7. Veriler girildikten sonra Malatya şehir merkezinde üç operatöre ait baz istasyonlarının fiziki haritadaki görünümü

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da RTV plan programı sonuçlarına göre Malatya ilinde bulunan baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik alan dağılımının Türkiye haritasındaki yayılımı verilmiştir. Elde edilen haritalara göre Malatya ili sınırlarında

bulunan baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik alan dağılımının çevre illere kadar ulaştığı ve oldukça geniş bir bölgeyi kapsadığı görülmektedir. Renklendirmede elektrik alan şiddeti değerleri maviden, kırmızı renge doğru artmaktadır.



Şekil 4.8. RTV plan programı sonuçlarına göre Malatya ilinde bulunan baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik alan dağılımı



Şekil 4.9. RTV plan programı sonuçlarına göre Malatya ilinde bulunan baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik alanın Türkiye haritası üzerindeki gösterimi

4.3. Malatya Şehir Merkezi ve Yakın Bölgelerinde Yapılmış Olan Anlık Elektromanyetik Alan Ölçümleri ve Sonuçları

4.3.1. 2011 yılında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde yapılmış olan anlık elektromanyetik alan ölçümleri ve sonuçları

2011 yılı ekim ayında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerindeki elektromanyetik alan yoğunluklarının incelenmesi ve frekans spektrumuna göre değerlendirilmesi kapsamında BTK ile birlikte ölçümler yapılmıştır. Yapılmış olan planlama sonrası Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde Narda SRM 3006 selektif elektromanyetik alan ölçüm cihazı ile 27MHz-3GHz frekans aralığında, frekans bazlı ölçümler yapılmıştır. Böylece elektromanyetik kirliliğe sebep olan kaynakların frekansları saptanmış ve elektromanyetik alan dağılım değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler neticesinde 100MHz ve altı frekansları, 900MHz, 1800MHz ve 2100MHz frekanslarında 1359 noktada ölçüm alınmış, frekans bazlı elektrik alan şiddetinin dağılımları belirlenmiştir. Benzer bir çalışma, frekans spektrumu genişletilerek 100kHz-8GHz frekans aralığında ve ölçümleme sıklığı artırılarak (1sn) 15.000'in üzerinde anlık ölçümle, 2013 yılında ile yapılmıştır. Bu ölçümler Wavecontrol SMP EMF Metre ile gerçekleştirilmiştir.

Yapılmış olan çalışmada, ölçümler hareket halindeyken (12km/h) alınmıştır; bu yöntem günlük hayatta kullanılan sistemlerin çoğunlukla “mobil” hareket halindeyken kullanılması ve hareket halindeyken yukarıda bahsedilen kaynakların etkilerinin gözlenmesi amacıyla tercih edilmiştir. Periyodik olarak her beş saniyede bir koordinatları ile elektrik alan şiddeti ölçümleri alınmıştır. Bu alan değerlerinden ölçüm alınan noktada, yukarıda belirtilmiş olan frekans gruplarına uygun en yüksek elektrik alan şiddeti değeri seçilmiştir. Seçilen noktalar Map Info v9.5 programı kullanılarak harita üzerine yerleştirilmiştir. Böylece Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinin, belirlenmiş olan frekans gruplarına ait maksimum elektrik alan şiddeti seviyelerini içeren değerler ile elektromanyetik alan uyumluluk haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar ve çizilmiş olan haritalar aşağıda sunulmuştur.

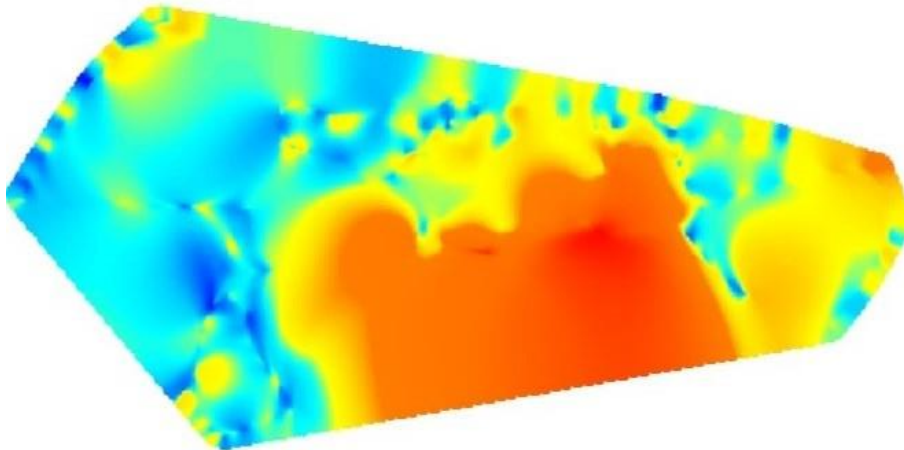
4.3.1.1. 100 MHz ve altı frekanslarda yapılmış olan anlık ölçümler ve sonuçları

Çalışmada 470 noktada, 100MHz ve altı frekanslarda, elektrik alan şiddeti değeri ölçülmüştür. Ölçümler neticesinde, ortamda bulunan mevcut alanın %35'ini Radyo ve TV yayıncılığı frekanslarında çalışan kaynakların meydana getirdiği belirlenmiştir. Yapılmış olan ölçümlerle çizilmiş olan haritaları inceleyecek olursak; ölçüm alınan noktalar ve izlenilmiş olan koordinatsal yol Şekil 4.10.'da verilmiştir [27,34].

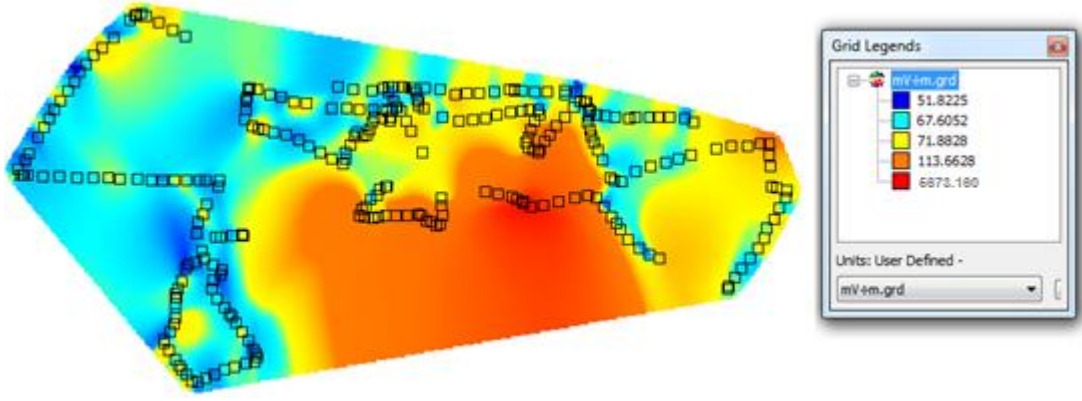


Şekil 4.10. Ölçüm alınan noktalar ve izlenilmiş olan koordinatsal ölçüm yolu

Anlık ölçümler neticesinde elde edilen sonuçlara göre elektrik alan uyumluluk haritaları çizilmiştir (Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13). Şekil 4.11'de 100MHz ve altı frekanslarda 470 noktada ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerleri ile çizilmiş iki boyutlu (2D) elektrik alan uyumluluk haritası gösterilmiştir. Şekil 4.12'de ise elektrik alan uyumluluk haritası ve ölçüm alınan noktalar görülmektedir.

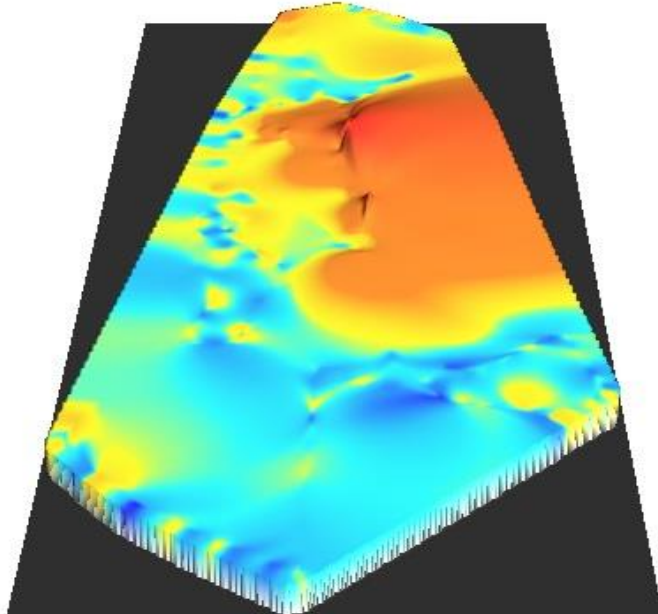


Şekil 4.11. 100MHz ve altı frekanslarda Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası



Şekil 4.12. 100MHz ve altı frekanslarda Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası ve izlenilen güzergâh

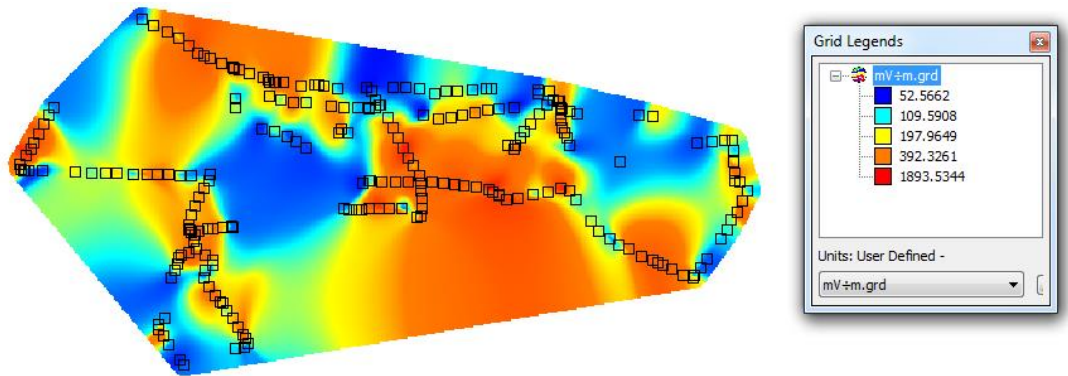
Sonuçlara göre 100MHz ve altı frekanslarda ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti değerleri esasen şehir merkezinde yoğunlaşmaktadır. Elektromanyetik alanın etkin seviyeleri, şehrin yoğun yaşam alanlarının bulunduğu bölgelerde ölçülmüştür. 100MHz ve altı frekanslarda ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti değerleriyle çizilmiş üç boyutlu (3D) elektrik alan uyumluluk haritası Şekil 4.13’de verilmiştir. Yapılmış olan ölçümlerde $f=94,486221\text{MHz}$ frekansında en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=5,673[\text{V/m}]$, güç yoğunluğu değeri ise $S=85,36[\text{mW}/\text{m}^2]$ olduğu tespit edilmiştir.



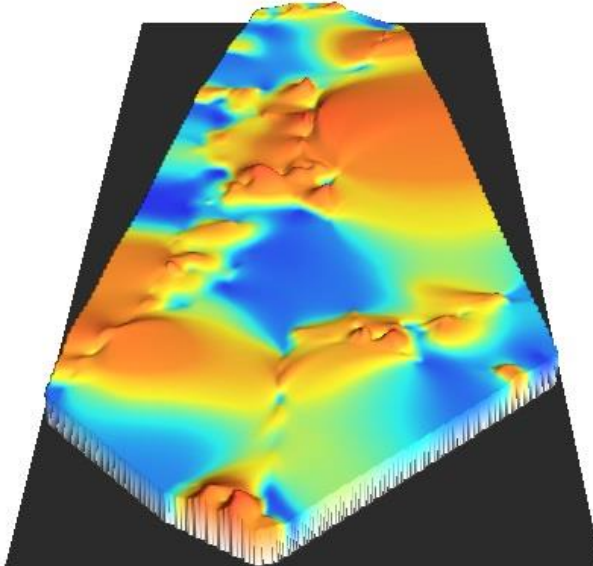
Şekil 4.13. 100MHz ve altı frekanslarda Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 3D elektrik alan uyumluluk haritası

4.3.1.2. GSM 900MHz frekansında yapılmış olan anlık ölçümler ve sonuçları

Yapılmış olan ölçümlerde 900MHz frekansında en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri 391 noktada gözlenmiştir. Ölçümler neticesinde mevcut alanın %29'unu 900MHz frekans bandında çalışan kaynakların meydana getirdiği belirlenmiştir. Sonuçlara göre çizilmiş olan iki boyutlu elektrik alan uyumluluk haritası ve ölçüm alınan noktalar Şekil 4.14'de ve üç boyutlu elektrik alan uyumluluk haritası Şekil 4.15'te verilmiştir. En yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=1.893[V/m]$, güç yoğunluğu değeri ise $S=1866[\mu W/m^2]$ olarak ölçülmüştür.



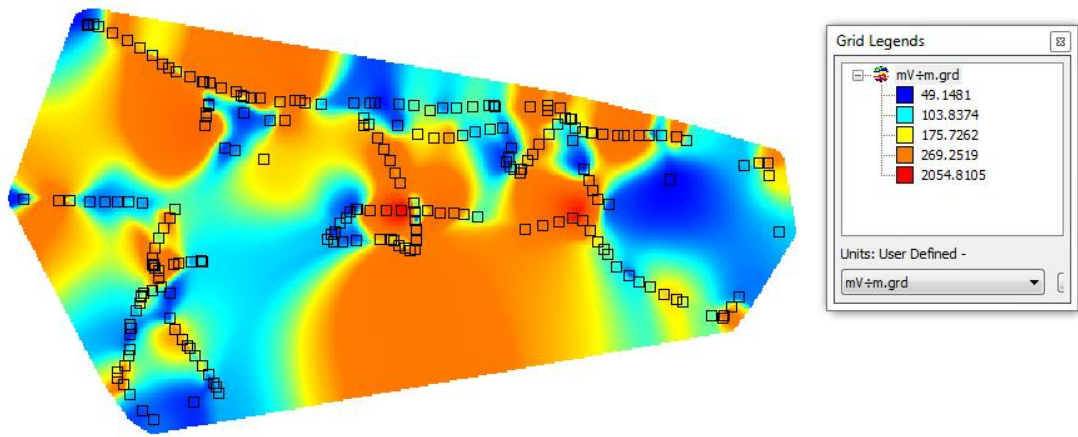
Şekil 4.14. 900MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası ve izlenen güzergâh



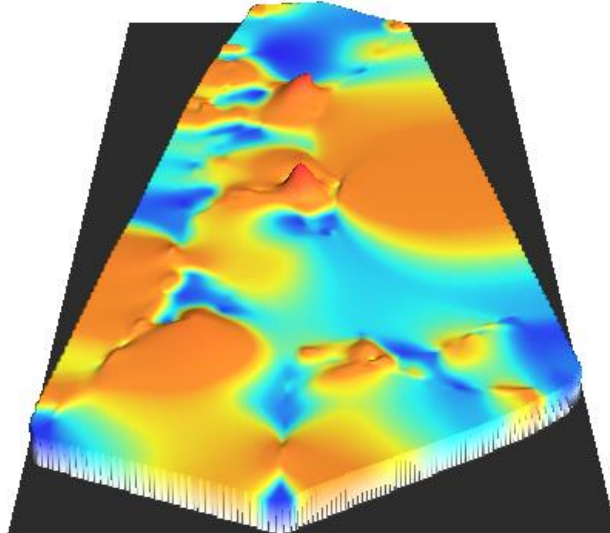
Şekil 4.15. 900MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 3D elektrik alan uyumluluk haritası

4.3.1.3. GSM 1800MHz frekansında yapılmış olan anlık ölçümler ve sonuçları

Ölçümlerde 316 noktada 1800MHz frekansında en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. Sonuçlara göre mevcut alanın %23'ünü 1800MHz frekans bandında çalışan kaynakların meydana getirdiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çizilmiş olan iki boyutlu elektrik alan uyumluluk haritası ve ölçüm alınan noktalar Şekil 4.16'da ve üç boyutlu elektrik alan uyumluluk haritası Şekil 4.17'te verilmiştir. Ölçümlerde en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=2.054[V/m]$, güç yoğunluğu değeri ise $S=1962[\mu W/m^2]$ olarak belirlenmiştir.



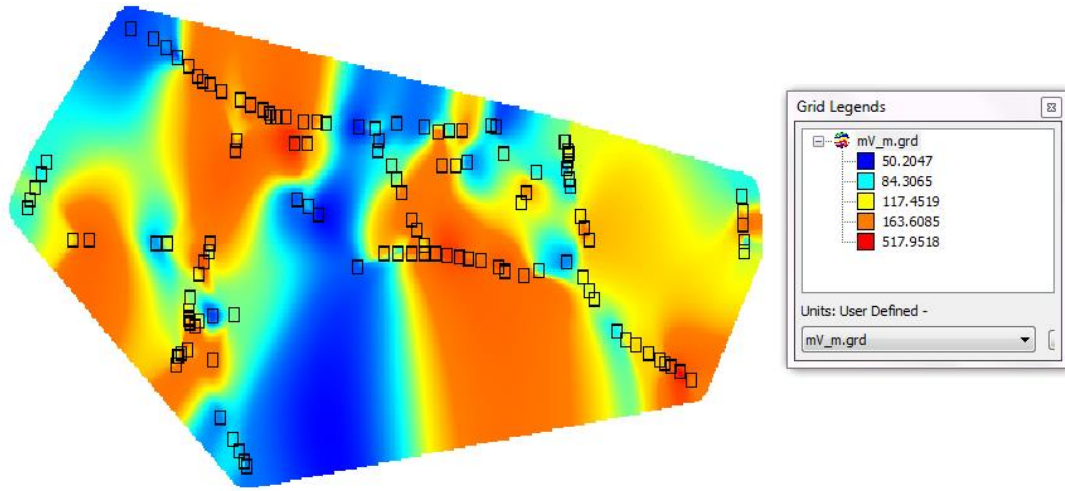
Şekil 4.16. 1800MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası ve izlenen güzergâh



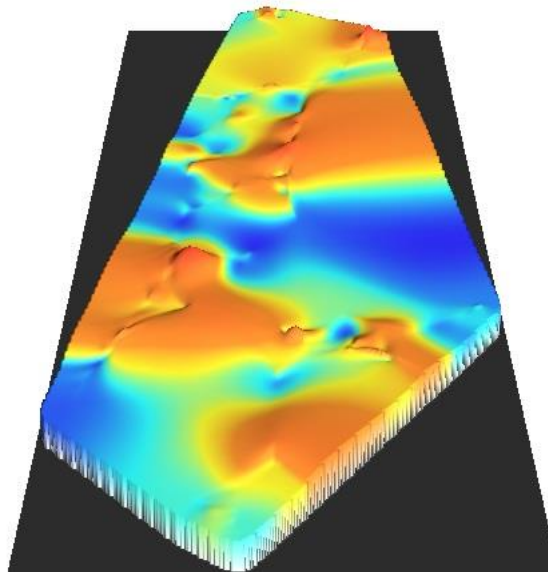
Şekil 4.17. 1800MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 3D elektrik alan uyumluluk haritası

4.3.1.4. UMTS 2100MHz frekansında yapılmış olan anlık ölçümler ve sonuçları

Alınmış olan ölçümlerde 182 noktada 2100MHz frekansında en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri tespit edilmiştir. Yapılmış ölçümler sonucunda mevcut alanın %13'ünü 2100MHz frekans bandında çalışan kaynakların meydana getirdiği belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre çizilmiş olan iki boyutlu elektrik alan uyumluluk haritası ve ölçüm alınan noktalar Şekil 4.18'da ve üç boyutlu elektrik alan uyumluluk haritası Şekil 4.19'te verilmiştir. Yapılmış olan ölçümlerde en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=0.517[V/m]$, güç yoğunluğu değeri ise $S=735[\mu W/m^2]$ olarak bulunmuştur.



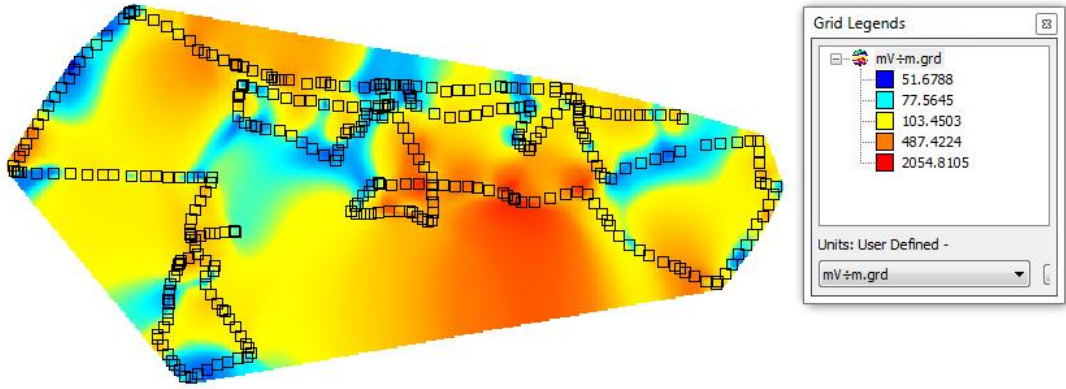
Şekil 4.18. 2100MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası ve izlenen güzergâh



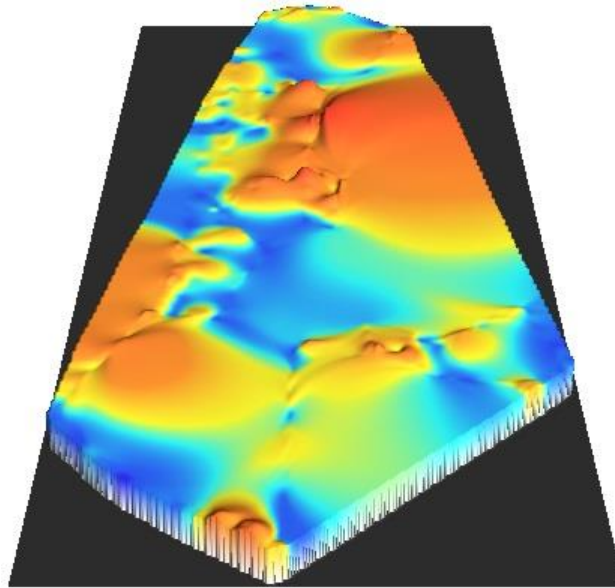
Şekil 4.19. 2100MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 3D elektrik alan uyumluluk haritası

4.3.1.5. 100MHz ve altı, GSM ve UMTS frekanslarında yapılmış olan anlık ölçümler ve sonuçları

Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde 1359 noktada gerçekleştirilen ölçümler bir araya getirilmiştir. Çalışmada esasen belirlenmiş olan Radyo ve TV yayıncılığı frekansları, GSM 900MHz ve 1800MHz frekansları ve UMTS 2100MHz frekanslarına ait elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirilerek çizilmiş iki boyutlu elektrik alan uyumluluk haritası ve ölçüm alınan noktalar Şekil 4.20’de ve üç boyutlu elektrik alan uyumluluk haritası Şekil 4.21’de verilmiştir. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 incelendiğinde görülmektedir ki; tüm bu frekans gruplarına ait elektrik alan şiddeti değerleri esasen şehir merkezi ve şehrin yoğunluklu yaşam alanlarını kapsamaktadır.



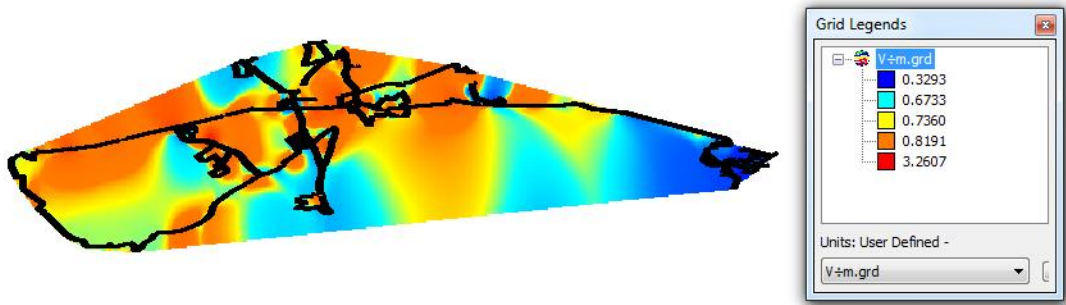
Şekil 4.20. Belirtilen frekans gruplarında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası ve izlenen güzergâh



Şekil 4.21. Belirtilmiş olan frekans gruplarında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan elektrik alan değerlerine göre çizilmiş 3D elektrik alan uyumluluk haritası

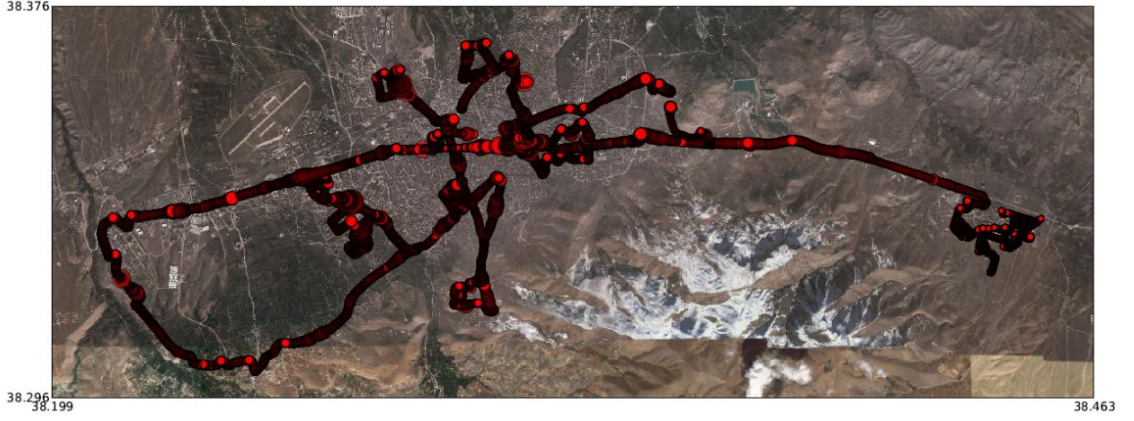
4.3.2. 2013 yılında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde yapılmış olan anlık elektromanyetik alan ölçümleri ve sonuçları

2013 yılına gelindiğinde yıllar içerisindeki değişimi gözlemlemek amacıyla çalışma alanı genişletilerek ve kapsamı detaylandırılarak ölçümler tekrarlanmıştır. Son yapılan çalışmada frekans aralığı genişletilmiş ve 100kHz-8GHz frekans aralığında Wavecontrol SMP Metre ile ortamın elektrik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Ölçümleme aralığı daha hassas ölçüm almak adına 5 saniyeden 1 saniyeye düşürülmüştür. 15.000'in üzerindeki anlık ölçüm sonuçlarına göre Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerindeki elektrik alan şiddeti dağılımı belirlenmiştir. Buna göre ölçüm alınan koordinatsal yol ve elektrik alan uyumluluk haritası Şekil 4.22'de verilmiştir [27].



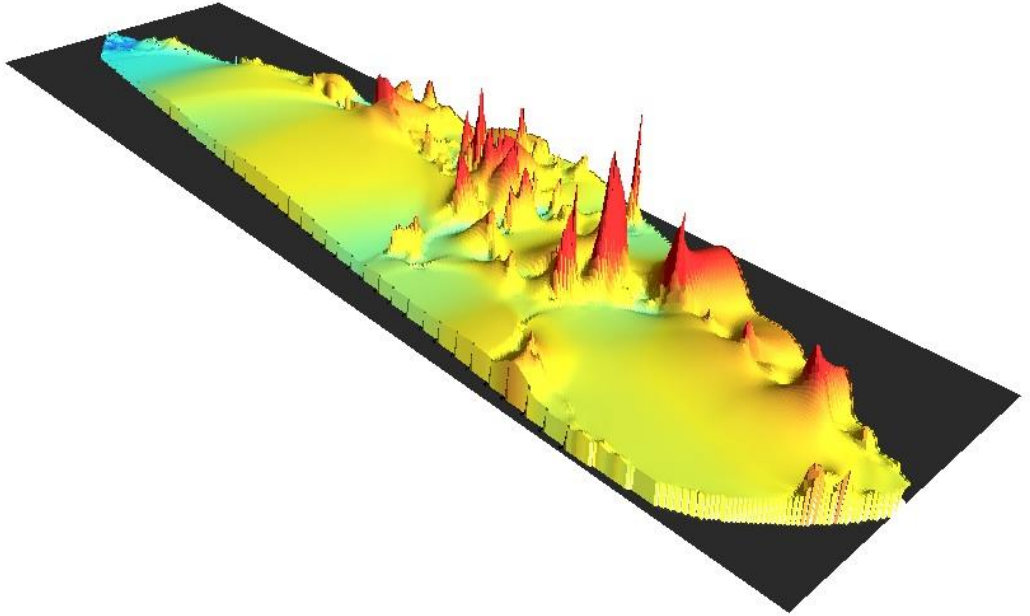
Şekil 4.22. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerindeki ölçüm alınan koordinatsal yol ve elektrik alan uyumluluk haritası
Çalışmanın yapıldığı bölgenin daha anlaşılabilir olması açısından alınan ölçümler fiziki harita üzerinde, ölçüm büyüklüğü değerleriyle yerleştirilmiştir (Şekil 4.23). Kırmızı noktaların büyüklüğü ölçülen elektrik alan şiddetiyle doğru orantılıdır. Kırmızı bölgeler genel olarak şehir merkezi ve toplu yaşam alanlarının bulunduğu bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Bu bölgelerde yapılmış olan ölçümlerde en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=6.58[V/m]$ olarak ölçülmüştür.

Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre şehir merkezinde ve şehir merkezi yakınlarındaki toplu yaşam alanlarının bulunduğu bölgede elektrik alan şiddeti değerlerinin zaman içerisinde giderek arttığı belirlenmiştir. Bu bölgelerde elektrik alan şiddeti değerlerinin en yüksek olduğu noktalar belirlenerek hazırlanmış üç boyutlu elektrik alan uyumluluk haritası Şekil 4.24'de verilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.24 birlikte incelendiğinde 2010 yılından, 2013 yılına gelindiğinde elektrik alan şiddetinin maximum seviyelerindeki artış açık bir şekilde görülmektedir (Çizelge 4.2).



Şekil 4.23. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerindeki ölçüm alınan noktaların fiziki harita üzerindeki gösterimi

2010 yılından, 2013 yılına uzayan periyotta yeni yaşam alanlarının oluşturulmasıyla, bu alanlardaki nüfus yoğunluğu da artış göstermiştir. Buna paralel olarak bu bölgedeki elektromanyetik alan dağılımı 3 kattan fazla artış göstermiştir. 2011 yılında bu bölgede ölçülmüş en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=2.054[V/m]$ iken, 2013 yılında aynı bölgede elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=6.58[V/m]$.



Şekil 4.24. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinin 3D elektrik alan uyumluluk haritası

Çizelge 4.2. 2010 ve 2013 yıllarında Malatya ilinde anlık elektrik alan ölçüm sonuçları

Malatya	Toplam Ölçüm	0-1 [V/m]	1-3[V/m]	3-5[V/m]	5-6[V/m]	6-9[V/m]
		Ölçüm / Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm / Yüzde
2010 BTK	654	280 / %42,81	296 / %45,26	67 / %10,24	8 / %1,22	3 / %0,46
2013	15867	12875 / %81,14	2920 / %18,4	67 / %0,42	4 / %0,025	1 / %0,0063

“Yaklaşık olarak 25 kat daha fazla ölçüm alınmıştır.”

Bu artışlar üç boyutlu elektromanyetik alan uyumluluk haritasında (Şekil 4.24) belirgin pik noktalarıyla açıkça görülmektedir. Şehrin merkez caddesinde 2011 yılından, 2013 yılına uzayan periyotta elektromanyetik alan dağılım düzeyi yaklaşık olarak 4 kat artış göstermiştir. 2011 yılında şehir merkezinde anlık ölçümlerle elde edilmiş en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max} = 1.04[V/m]$ iken, 2013 yılında aynı bölgede elektrik alan şiddeti değeri $E_{max} = 4.03[V/m]$ olarak ölçülmüştür. Malatya şehir merkezinde oluşan elektromanyetik alanların frekans spektrumunun incelenmesi sonucu 2011 yılında GSM sinyalleri, ortamdaki toplam sinyallerin %65'ini oluşturduğu halde, 2013 yılına gelindiğinde bu oran %77 seviyesine çıkmıştır [27,34]. Bu artış, son yıllarda yeni nesil haberleşme sistemlerinin abone sayısı ve görüşme sürelerinin artması ile açıklanabilir [5]. Dolayısıyla şehir merkezi ve yakın bölgelerinde baz istasyonlarının yaydığı yüksek frekanslı elektromanyetik alanların yoğunluğunun ilerleyen zamanlarda daha etkin düzeylere ulaşacağını göstermektedir [27]. Sonuç olarak bütün bu verilerin değerlendirilmesinden elektromanyetik kirliliğin şehir merkezleri ve yakın bölgelerinde sürekli artışı denetleyebilmek için sürekli ölçüm ve izleme sistemlerinden yararlanmak gerektiği açıkça görülmektedir [28,29].

4.4. İnönü Üniversitesi Yerleşkesinde Yapılmış Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Anlık Ölçümleri ve Sonuçları

Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerini içine alan çalışmanın detaylı bir örneği; 7 milyon m^2 alana sahip, yaklaşık olarak 30.000'in üzerinde genç nüfuslu öğrenci, 5000'in üzerinde çalışan, 400'ün üzerinde lojman, kreş, ilköğretim okulları, öğrenci yurtları, araştırma hastanesi, camii, toplu konutlar gibi yaşam alanlarının yer aldığı İnönü Üniversitesi yerleşkesinde, elektromanyetik alanların seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla İnönü Üniversitesi yerleşke alanında bulunan baz istasyonlarının ve yerleşke üzerine etki eden diğer yüksek frekanslı elektromanyetik alan kaynaklarının yaydığı elektrik alan şiddetleri dönemsel olarak,

anlık ölçümlerle belirlenmiştir. Yerleşkenin frekans bazlı elektrik alan şiddeti ev güç yoğunluğu uyumluluk haritaları belirlenmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre dönemsel değişimler kıyaslanarak sonuçlar değerlendirilmiştir [26,32]. Bu sonuçlar ölçüm yıllarına göre aşağıda sırasıyla verilmiştir.

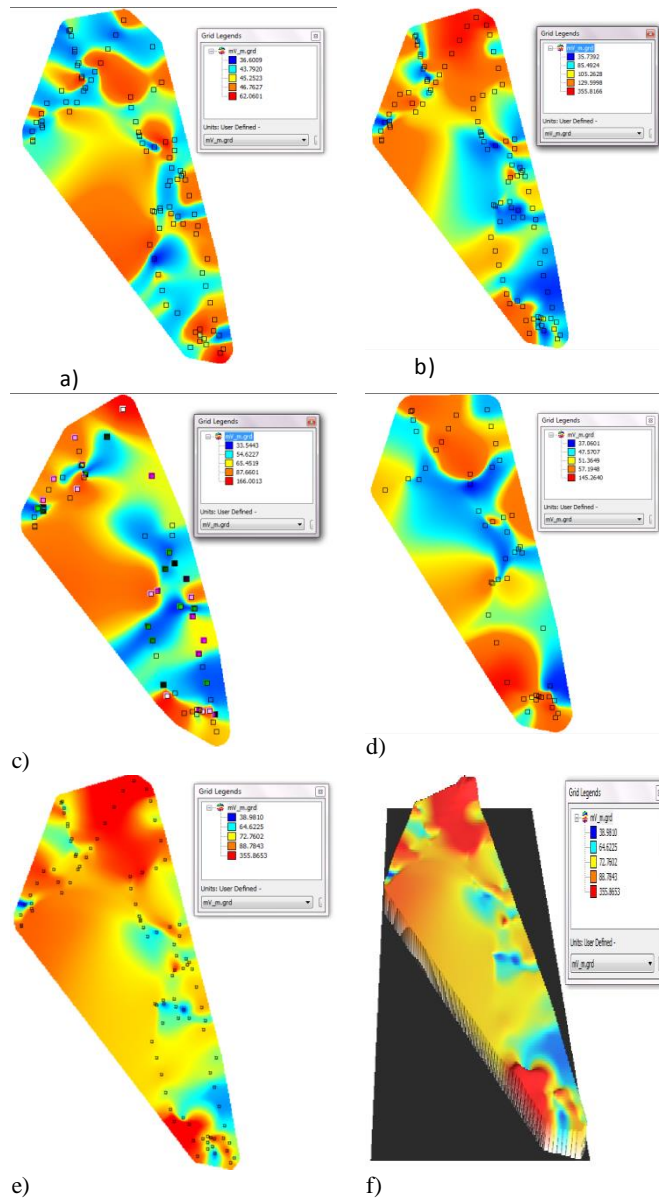
4.4.1. 2011 Yılında İnönü Üniversitesi yerleşkesinde yapılmış olan yüksek frekanslı elektromanyetik alanların anlık ölçümleri ve sonuçları

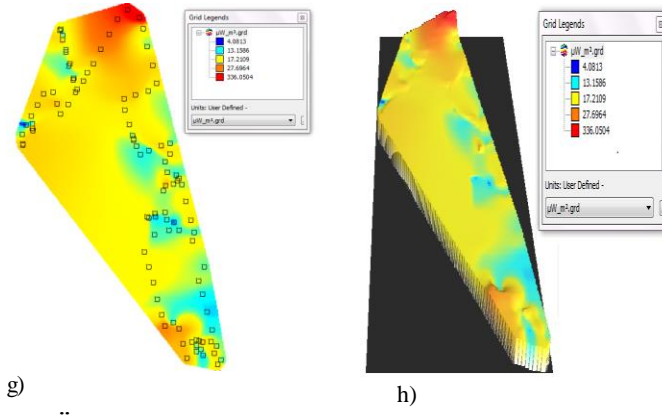
2011 yılı ekim ayında, Narda SRM 3006 selektif elektromanyetik alan ölçüm cihazı ile, 27MHz-3GHz frekans aralığında, 5 saniyelik ölçüm periyodunda, spektrum analizi yapılarak 100MHz altı frekansları, GSM 900MHz & 1800MHz frekansları ve UMTS 2100MHz frekansında, yerleşke dâhilinde anlık ölçümlerle, koordinatlarıyla 450'nin üzerinde noktada, elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerden elde edilen veriler neticesinde üniversite yerleşkesindeki 100MHz altı frekansları, GSM 900MHz & 1800MHz frekanslarını ve UMTS 2100MHz frekansını içeren elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğu uyumluluk haritaları çizilmiştir. Ölçüm alınan noktada, çalışma için belirlenmiş frekans gruplarında en yüksek elektrik alan şiddeti değeri çalışma için seçilmiştir.

Elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğu uyumluluk haritalarında, en düşük elektrik alan şiddeti değerleri mavi renk tonlarıyla, en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri ise kırmızı renk tonlarıyla gösterilmiştir. Ölçümler, çalışmanın yapıldığı yerleşkede yerden 150 cm, ortalama bir insanın baş-gövde yüksekliğinde alınmıştır.

Elde edilmiş sonuçlarla çizilmiş elektromanyetik alan uyumluluk haritalarını detaylı olarak incelenecek olursa; Şekil 4.25.a'da 100MHz altı frekans değerlerine ait ölçüm alınan güzergâh ve ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerine göre elektromanyetik alanın uyumluluk haritası verilmiştir. Şekil 4.25.b'de GSM 900MHz frekansında ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerine göre elektromanyetik alanın uyumluluk haritası sunulmuştur. Şekil 4.25.c'de GSM 1800MHz frekansında ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerine göre elektromanyetik alanın uyumluluk haritası görülmektedir. Şekil 4.25.d'de UMTS 2100MHz frekansında ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerine göre elektromanyetik alanın uyumluluk haritası verilmiştir. Şekil 4.25.e'de tüm bu frekans değerlerine ait ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirildiğinde, üniversite yerleşkesinde belirtilmiş olan frekans bantlarındaki elektromanyetik alan dağılımı sunulmuştur. Şekil 4.25.f'de tüm bu frekans

değerlerine ait ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirildiğinde, üniversite yerleşkesinde belirtilmiş olan frekans bantlarındaki elektromanyetik alan dağılımının üç boyutlu uyumluluk haritası görülmektedir. Şekil 4.25.g'de tüm bu frekans değerlerine ait ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirildiğinde üniversite yerleşkesinde belirtilmiş olan frekans bantlarındaki elektromanyetik alan güç yoğunluğu W/m^2 dağılımı görülmektedir. Şekil 4.25.h'de tüm bu frekanslara ait elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirildiğinde üniversite yerleşkesinde belirtilmiş olan frekans bantlarındaki elektromanyetik alan güç yoğunluğu dağılımının üç boyutlu uyumluluk haritası görülmektedir.





Şekil 4.25. İnönü Üniversitesi yerleşkesinde belirlenmiş olan frekans bantlarında ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğu haritaları

Üniversite yerleşkesinde 100MHz altı frekanslarında (genel olarak radyo ve TV frekansları) 143 noktada elektrik alan şiddeti seviyesinin etkin değerlerde olduğu ve yerleşke dâhilindeki alanın yeterince geniş bölgelerini kapsadığı net bir şekilde anlaşılmaktadır. (Şekil 4.25.a). Bu sonuçlara göre en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=62.0601[mV/m]$, güç yoğunluğu değeri ise $S=10.22[\mu W/m^2]$ olarak ölçülmüştür. GSM 900MHz frekansında 171 noktada elektrik alan şiddeti seviyesinin etkin değerlerde olduğu ve yerleşke dâhilindeki alanın yeterince geniş bölgelerini kapsadığı, kaynağa yakın bölgelerde alan seviyesinin beklenildiği şekilde arttığı görülmektedir (Şekil 4.25.b). GSM 900 MHz frekansında ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=355.8166[mV/m]$, güç yoğunluğu değeri ise $S=672[\mu W/m^2]$ olarak ölçülmüştür. GSM 900MHz frekansına ait maksimum elektrik alan şiddeti seviyelerinde ölçülmüş olan değerlerinin sayısı, GSM 1800MHz ve UMTS 2100MHz frekanslarında ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti değerlerine göre daha fazladır. Dolayısıyla bu bölgede 2011 yılında 2G haberleşme sisteminin daha yaygın olduğu görülmektedir.

GSM 1800MHz frekansında 76 noktada maksimum elektrik alan şiddeti seviyesine ait ölçüm değeri bir araya getirilerek oluşturulmuş elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası Şekil 4.25.c'de verilmiştir. GSM 1800 MHz frekansında ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=166.0013[mV/m]$, güç yoğunluğu değeri ise $S=120.8[\mu W/m^2]$ olarak belirlenmiştir. Harita incelendiğinde kaynağa yakın bölgelerde elektrik alan şiddeti seviyesinin arttığı gözlenmektedir. UMTS 2100MHz frekansında 64 noktada maksimum elektrik alan şiddeti seviyesine ait ölçüm değeri bir araya getirilerek oluşturulmuş elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası Şekil 4.25.d'de verilmiştir. Harita incelendiğinde kaynağa yakın bölgelerde

elektrik alan şiddeti seviyesinin arttığı gözlenmektedir. Bu frekans bandında ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=145.264[mV/m]$, güç yoğunluğu değeri ise $S=60.09[\mu W/m^2]$ olarak belirlenmiştir.

100MHz altı frekansları, GSM 900MHz & 1800MHz ve UMTS 2100MHz frekanslarına ait 454 noktada ölçülmüş maksimum elektrik alan şiddeti seviyesine ait değerler bir araya getirilerek çizilmiş olan toplam elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası Şekil 4.25.e’de verilmiştir. Şekil 4.25.e incelendiğinde bu frekanslarca üniversite yerleşkesinin neredeyse tamamının belirgin bir alan dâhilinde kapsandığı görülmektedir. Şekil 4.25.f’de ölçüm yapılan frekans gruplarına ait üç boyutlu elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası yer almaktadır. Kapsam haritaları incelendiğinde görülecektir ki 27MHz – 3GHz frekans aralığında alınmış olan ölçüm değerlerine göre yerleşke civarında bulunan GSM 900MHz & 1800MHz frekanslarındaki baz istasyonlarının etkin elektrik alan şiddeti seviyelerinin kapsama alanları UMTS 2100MHz ve 100MHz altı frekanslarının etkin elektrik alan şiddeti seviyelerinin kapsama alanlarına göre daha geniştir.

Şekil 4.25.g’ de ise İnönü Üniversitesi yerleşkesinde, 454 noktada, 100MHz altı frekansları, GSM 900MHz & 1800MHz ve UMTS 2100MHz frekanslarında alınmış olan güç yoğunluğu değerlerine ait 2 boyutlu güç yoğunluğu ($S[W/m^2]$) uyumluluk haritası yer almaktadır. Metrekare başına düşen güç yoğunluğu incelendiğinde, görülmektedir ki yerleşke kapsamında güç yoğunluğu dağılımı belirli bir düzeydedir ve bu yoğunluk kaynağa yaklaştıkça artmaktadır. Bu frekans bantlarında ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=355.8166[mV/m]$, güç yoğunluğu değeri ise $S=672[\mu W/m^2]$ ’dir. Şekil 4.25.h’de ise ölçüm yapılan frekans gruplarına ait üç boyutlu güç yoğunluğu uyumluluk haritası yer almaktadır.

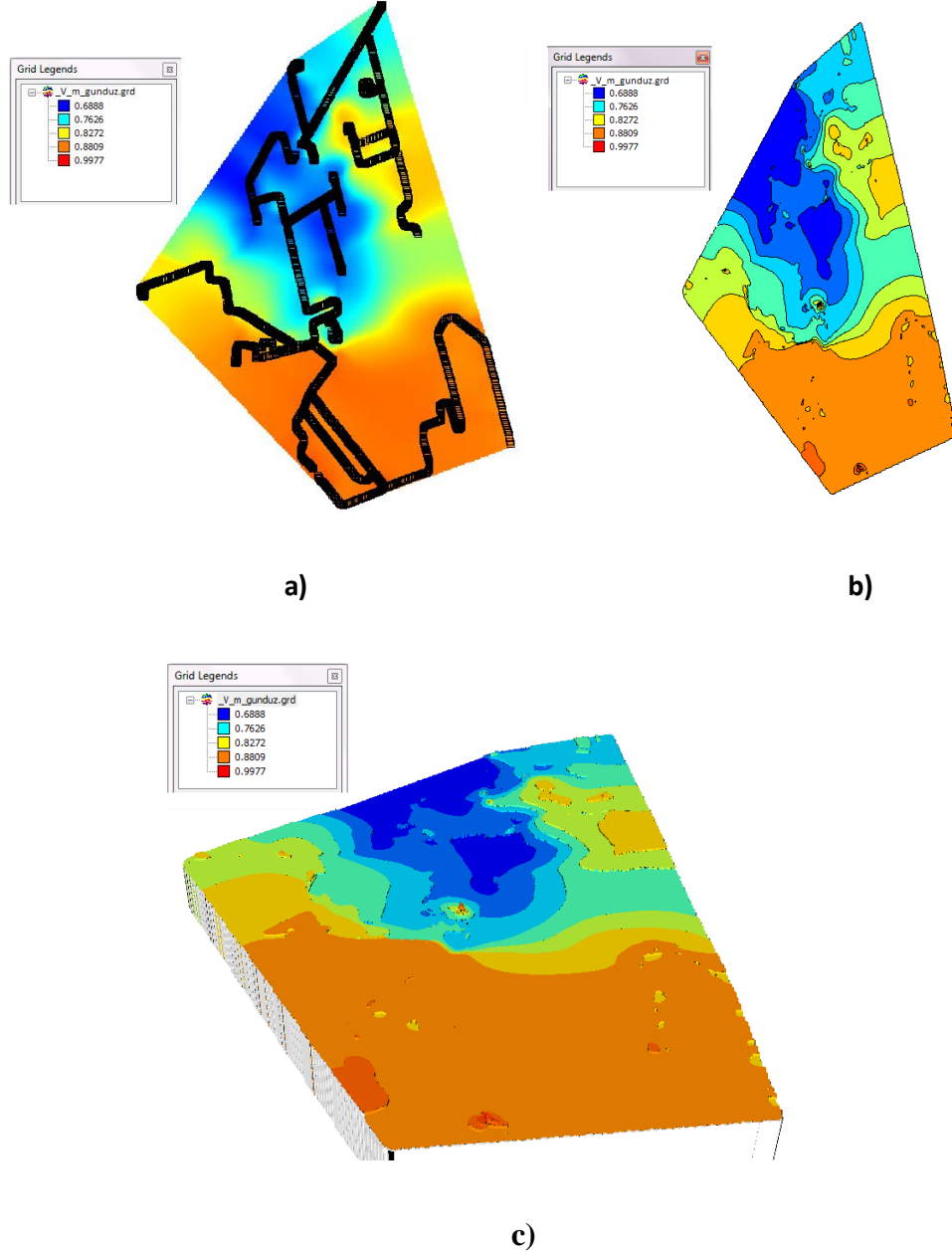
454 noktada ölçüm alınmış olan bütün değerlerin, ulusal ve uluslararası standartların altında olduğu belirlenmiştir. Uluslararası standart kuruluşların önerdiği limit elektromanyetik alan değerleri göz önünde tutulduğunda [87-91], İnönü Üniversitesi yerleşkesinde ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti değerleri bu standartların çok altındadır (Çizelge 2.1).

4.4.2. 2013 Yılında İnönü Üniversitesi yerleşkesinde yapılmış olan yüksek frekanslı elektromanyetik alanların anlık ölçümleri ve sonuçları

2011 yılında yapılmış olan çalışmanın hem sonuçlandırılması hem de sürecin değerlendirilmesi adına 2013 yılı haziran ayında üniversite yerleşkesinde daha detaylı bir çalışma planlanmış ve yapılmıştır. 2013 yılında Wavecontrol SMP EMF Metre ile 100kHz-8GHz frekans aralığında, 1 saniye aralıklarla, 6700'ün üzerinde noktada, gece ve gündüz saatlerinde, anlık ölçümlerle elektrik alan şiddeti değerleri koordinatlarıyla ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlarla, elektrik alan şiddeti uyumluluk haritaları çizilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın amaçlarından biri iki yıllık periyotta, üniversite yerleşkesindeki elektrik alan şiddetinin değişiminin belirlenmesidir; bir diğer amaç ise ölçüm sonuçlarından elde edilecek verilerle çizilen elektromanyetik uyumluluk haritası ile bu bölgedeki elektrik alan kaynaklarının homojen dağılımının sağlanması ve olası risk bölgelerinin belirlenmesidir [26,32].

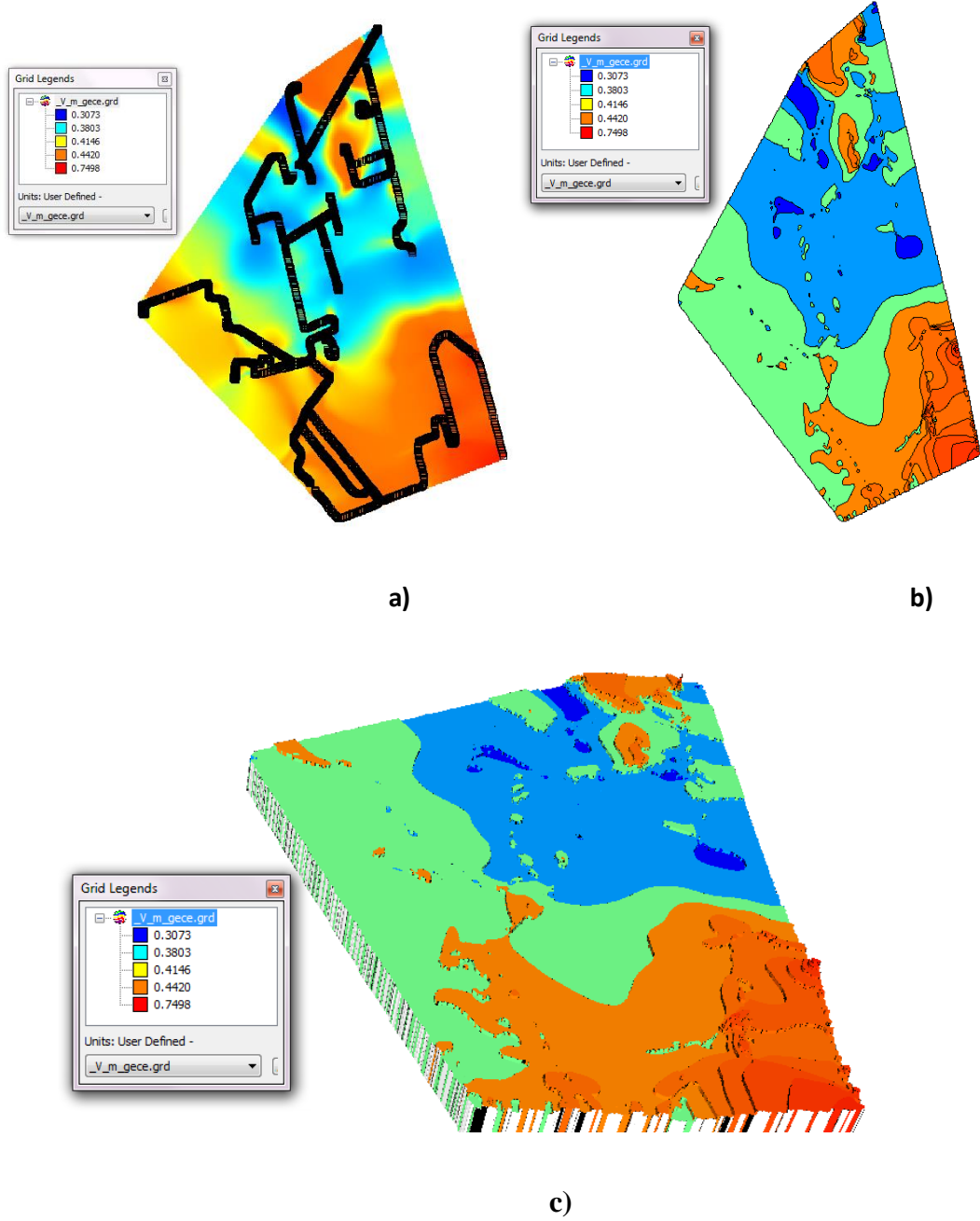
Ölçümler çalışmanın yapıldığı yerleşke dahilinde 2011 yılında 5 s aralıklarla, 2013 yılında ise 1 s aralıklarla, yerden 150 cm yükseklikte ortalama bir insanın baş-gövde yüksekliğinde alınmıştır. Yapılan son çalışmada üniversite yerleşkesinde mobil telefon trafiğinin en yoğun olduğu gündüz çalışma saatlerinde ve mobil telefon trafiğinin düşüş eğiliminde olduğu akşam saatlerinde toplam 6784 noktada anlık elektrik alan şiddeti ölçümleri alınmıştır. Üniversite yerleşkesinde bu çalışma öncesinde alınmış olan 24 saatlik sürekli ölçümler sonucunda [25] görülmüştür ki gündüz çalışma saatlerinde elektrik alan seviyeleri yükselmekte iken akşam saatlerinde aynı bölgede elektrik alan seviyeleri düşmektedir. Ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti değerlerine göre, gündüz saatlerinde alınmış olan ölçümler sonucu en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=1,2482[V/m]$, ortalama elektrik alan şiddeti değeri $E_{ort}=0,8315[V/m]$ 'dir. Akşam saatlerinde en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max}=0,7945[V/m]$, ortalama elektrik alan şiddeti değeri $E_{ort}=0,4142[V/m]$ olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlardan görülmektedir ki üniversite yerleşkesinde gece ile gündüz saatleri arasında, elektrik alan şiddeti seviyesinde %50'ye varan bir düşüş söz konusudur. Burada ki düşüşün esas sebebi yerleşke içerisinde bulunan ve baz istasyonlarına bağlanan abone sayısındaki ve iletişim trafiğindeki değişimdir.

İnönü Üniversitesi yerleşkesinde 100kHz-8GHz frekans aralığında alınmış ölçüm sonuçlarına göre elektrik alan şiddeti dağılımlarını gösteren iki ve üç boyutlu uyumluluk haritaları çizilmiştir. Gündüz alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası, ölçüm alınan noktalar ve ölçüm güzergâhı Şekil 4.26.a'da, 2D elektrik alan contour haritası Şekil 4.26.b'de, 3D elektrik alan uyumluluk haritası Şekil 4.26.c'de verilmiştir.



Şekil 4.26. a) 2D elektrik alan uyumluluk haritası, ölçüm alınan noktalar ve ölçüm güzergâhı b) 2D elektrik alan contour haritası, c) 3D contour elektrik alan uyumluluk haritası

İnönü Üniversitesi yerleşkesinde 100kHz-8GHz frekans aralığında alınmış ölçüm sonuçlarına göre elektrik alan şiddeti dağılımlarını gösteren iki ve üç boyutlu uyumluluk haritalar çizilmiştir. Gece alınan ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş 2D elektrik alan uyumluluk haritası, ölçüm alınan noktalar ve ölçüm güzergâhı Şekil 4.27.a'da, 2D elektrik alan contour haritası Şekil 4.27.b'de, 3D elektrik alan uyumluluk haritası Şekil 4.27.c'de verilmiştir.



Şekil 4.27. a) 2D elektrik alan uyumluluk haritası, ölçüm alınan noktalar ve ölçüm güzergâhı b) 2D elektrik alan contour haritası, c) 3D contour elektrik alan uyumluluk haritası

Sonuç olarak 2011-2013 yılları periyodunda üniversite yerleşkesinde ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti seviyelerinde maksimum elektrik alan şiddeti değeri %148, minimum elektrik alan şiddeti değeri %55 artış göstermiştir. Yakın gelecekte üniversite öğrencileri, çalışanları ve diğer birimleri ile bulunduğu yerleşke civarında yapılan toplu konut inşaatları ve şehir stadı ile bu bölgeye gelecek her kişi, iletişim trafiğini de beraberinde getireceğinden; bölgedeki artan iletişim trafiği ile doğru orantılı olarak elektrik alan şiddetinin seviyelerinin de artacağını söylemek mümkündür. Ölçüm sonuçlarına göre yerleşke kapsamında her noktada elektrik alan şiddeti değeri 0'ın üzerindedir. Bu da yerleşke dâhilinde elektrik alanın var olduğunu göstermektedir. Bu etkilerin tehlikeli boyutlara ulaşmaması için elektromanyetik alan yayan kaynakların artışıyla doğru orantılı olarak bu etkilerden korunma sistemlerinin ve/veya yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun için yapılan ölçüm ve değerlendirmeler ile sunulmuş olan elektromanyetik alan seviyesi haritalarının önemi daha da artmaktadır [26,32].

Bölgede bulunan mevcut baz istasyonlarının kapasite artırımı ile yerleşke dâhilinde elektromanyetik alanın yüksek olan bölgeleri ile düşük olan bölgeleri arasındaki fark giderek artacaktır. Bu haritalar göz önüne alınarak baz istasyonlarının, elektromanyetik alan yoğunluğunun zayıf olduğu bölgelere kurulması ve bu sistemlerin sebep olduğu elektromanyetik alanın üniversite yerleşkesi üzerinde yaklaşık olarak homojen dağılımı sağlanabilir. Bu alanların seviyeleriyle, ulusal ve uluslararası standartların limit değerleriyle uyum sağlamalıdır [87-91].

4.5. Turgut Özal Tıp Merkezi'nde Yapılmış Olan Anlık Elektromanyetik Alan Ölçümleri

4.5.1 Turgut Özal Tıp Merkezi'nde yapılmış olan yüksek frekanslı elektromanyetik alanların anlık ölçümleri ve sonuçları

Yılda 500.000'in üzerinde hastanın ziyaret ettiği İnönü Üniversitesi Turgut Özal Tıp Merkezi (TÖTM)'nin, 5Hz-8GHz frekans aralığında hastane içerisinde ve yerleşkesindeki tıp merkezine dış kaynaklardan etkileyen yüksek frekanslı elektromanyetik alanların etki seviyelerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi amacıyla 10Hz-3kHz, 100kHz-8GHz, GSM & UMTS frekanslarında ölçümler yapılmıştır [25,33].

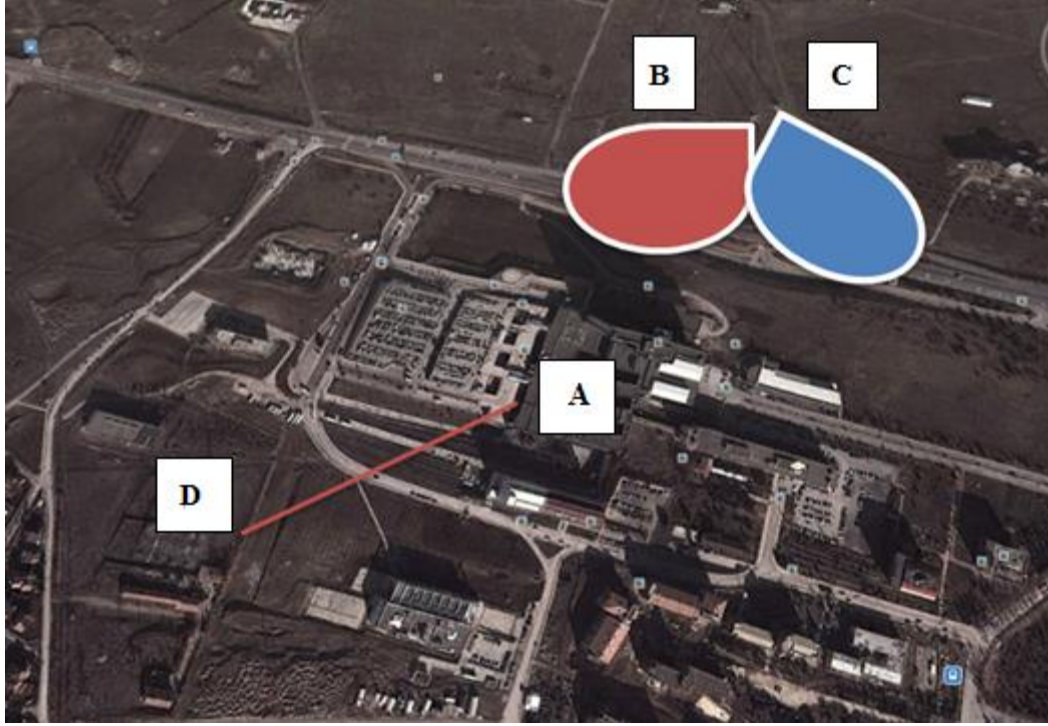
Bu çalışmada TÖTM'i içerisinde bulunan yüksek frekansta çalışan kablosuz haberleşme sistemleri ve güç frekansında çalışan enerji sistemleri ve dağıtım şebekesinin; hastane dışında bulunan yüksek frekansta çalışan Radyo ve TV istasyonları, GSM & UMTS baz istasyonlarının ve güç frekansında çalışan yüksek gerilim enerji nakil hatları ve dağıtım sistemlerinin hastane bölgesinde oluşturmuş oldukları elektromanyetik dağılım seviyeleri, anlık ölçümlerle belirlenmiştir. Tıp merkezinin içerisindeki yüksek frekanslı elektrik alan şiddeti seviyesinin ölçümü ve dağılımının belirlenmesi amacıyla da Wavecontrol SMP Metre ile üç yünlü ölçüm alan geniş band (100kHz-8GHz) ve GSM & UMTS problemleri kullanılmıştır. Hastane içerisinde güç frekansındaki elektrik alan şiddeti seviyesinin ölçümü için Narda EHP-50D (5Hz-100kHz) sürekli elektrik alanları ölçme ve izleme cihazı ve Wavecontrol SMP Metre ile düşük frekans probu (10Hz-3kHz) kullanılmıştır. Tüm bu ölçüm sonuçları neticesinde hastane içerisindeki spektrum analizi AAronia Spectran HF-60105 (100MHz-9,4GHz) ile yapılmıştır.

Tıp merkezinin içerisindeki yüksek frekans elektrik alan şiddeti seviyesinin ölçümü ve dağılımının belirlenmesi amacıyla Wavecontrol SMP Metre ile 100kHz-8GHz ve GSM & UMTS frekanslarında ölçüm alan problemler ile bölgede elektrik alan şiddeti seviyesinin en yüksek olduğu çalışma saatleri içerisinde, 6 dakikalık periyotlarda, bir saniyelik örneklemeyle, yer seviyesinden 150cm yükseklikte ölçümler alınmıştır. 26km'nin üzerinde, hastane içindeki tüm birimler dolaşarak, anlık ölçümlerle hastane içerisindeki elektrik alan şiddeti seviyeleri tespit edilmiş ve koordinatları ile alınmış ölçüm değerlerinin, hastane içerisindeki elektrik alan uyumluluk haritaları çizilmiştir.

Çalışmanın yapıldığı TÖTM'i bölgeleri Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Şekil 4.28'de TÖTM'i (A) ile gösterilmiştir, hastanenin kuzey bölgesinde bulunan baz istasyonları kırmızı ve mavi eliptik şekil ile belirtilmiştir (B ve C). Hastanenin güney batı cephesinde bulunan şalt sahası (D)'nden, TÖTM'ne doğru olan ölçüm güzergâhı kırmızı hat ile gösterilmiştir. Bu şema üzerine yapılan ölçümler ve değerlendirmeler aşağıdaki gibidir.

TÖTM'ne yakın bölgede hastanenin kuzey cephesinde iki farklı operatöre ait ve çatısında da farklı bir operatöre ait baz istasyonları bulunmaktadır. Bu nedenle bu

baz istasyonlarının, hastane üzerinde oluşturduğu elektrik alan şiddetinin belirlenmesi amacıyla anlık elektrik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır.

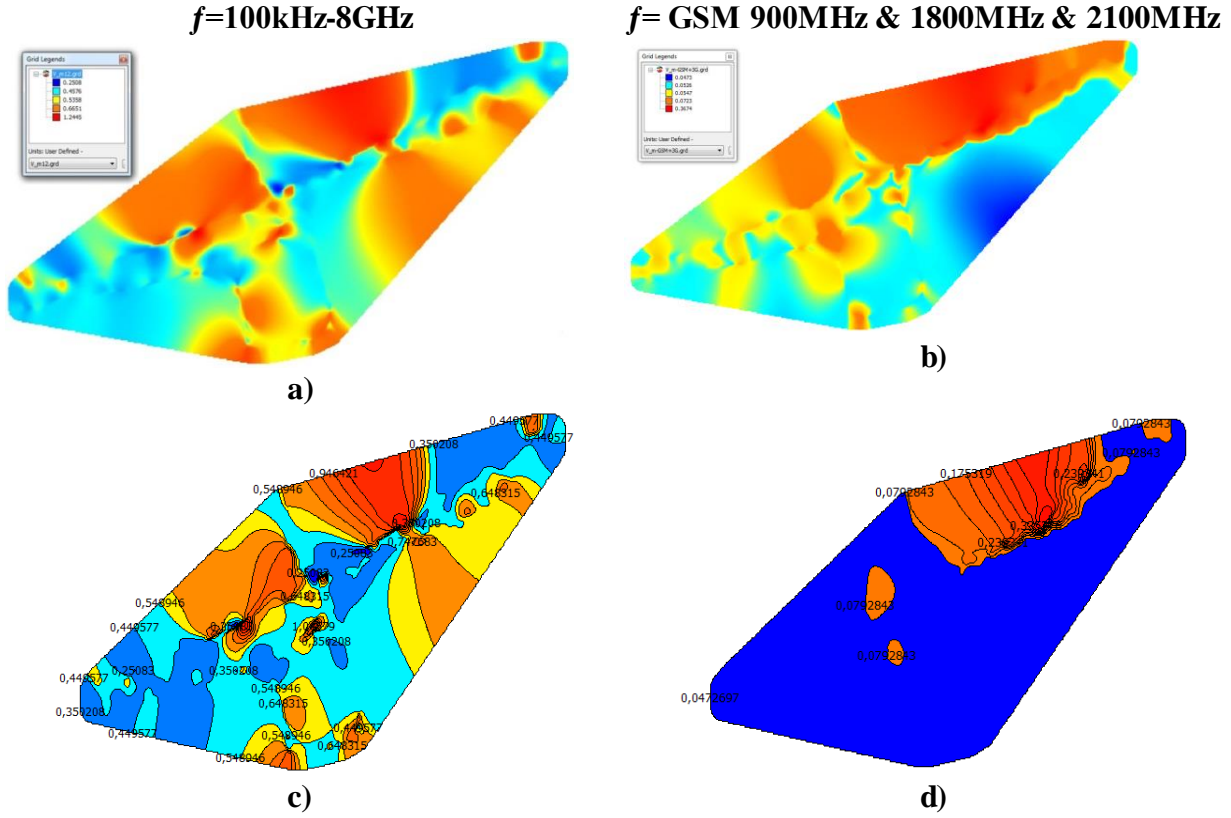


Şekil 4.28. Turgut Özal Tıp Merkezi yerleşim bölgesinin genel görünümü

Hastane içerisinde ölçülen genişbant (100kHz-8GHz) ve baz istasyonuna ait (GSM & UMTS) elektrik alan şiddeti ölçüm değerlerine göre Map Info v9.5 programı ile çizilmiş elektrik alan uyumluluk haritaları üzerinde en düşük değerler mavi renk tonlarıyla, en yüksek değerler ise kırmızı renk tonlarıyla ifade edilmiştir. Tıp merkezinde yatarak tedavi gören hastalar esasen hastanenin kule katlarında kalmaktadırlar, bu katlarda yapılmış olan 100kHz-8GHz ve GSM & UMTS frekanslarındaki ölçümler sonucu katlardaki elektromanyetik alan dağılımları belirlenmiş ve örnek olarak 12. kata ait elektrik alan şiddeti uyumluluk haritaları Şekil 4.29'da verilmiştir. Diğer katlara ait olan ölçüm sonuçları ise Ek.3'te sunulmuştur.

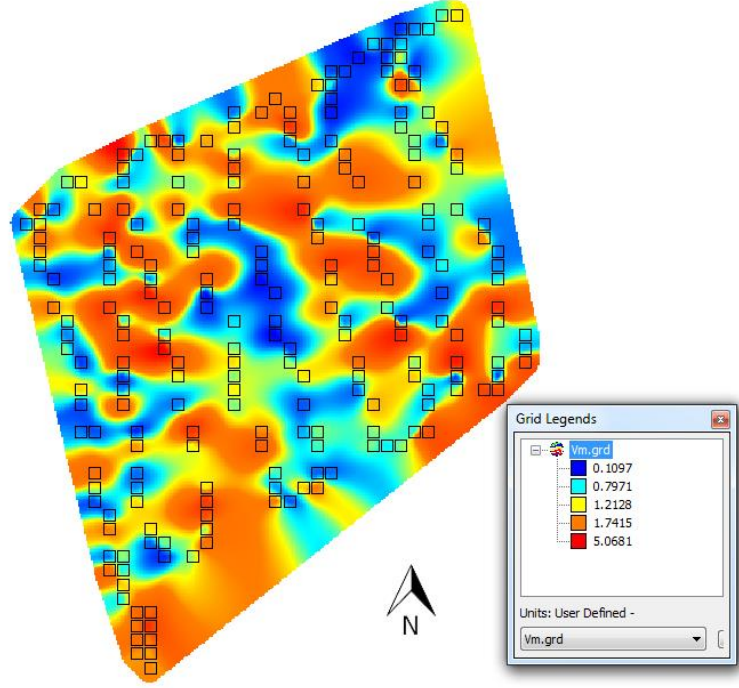
Şekil 4.29.a'da 100kHz-8GHz frekans aralığındaki kaynakların oluşturmuş olduğu elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası yer almaktadır. Bu ölçüm sonucuna göre belirlenmiş en yüksek elektrik alan şiddeti seviyesi $E_{max} = 1,32[V/m]$ 'dir. Şekil 4.29.b'de GSM & UMTS frekans aralığındaki kaynakların oluşturmuş olduğu elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası yer almaktadır. Bu ölçüm sonucuna göre belirlenmiş en yüksek elektrik alan şiddeti seviyesi $E_{max} = 0,37[V/m]$ olarak ölçülmüştür. Şekil 4.29.c ve Şekil 4.29.d'de ölçülmüş elektrik alan şiddeti

değerlerine göre çizilmiş contour haritaları verilmiştir. Contour haritalarından, elektrik alanının yoğunlaştığı bölgeler alan şiddeti değerleriyle birlikte net bir şekilde tespit edilebilmektedir.



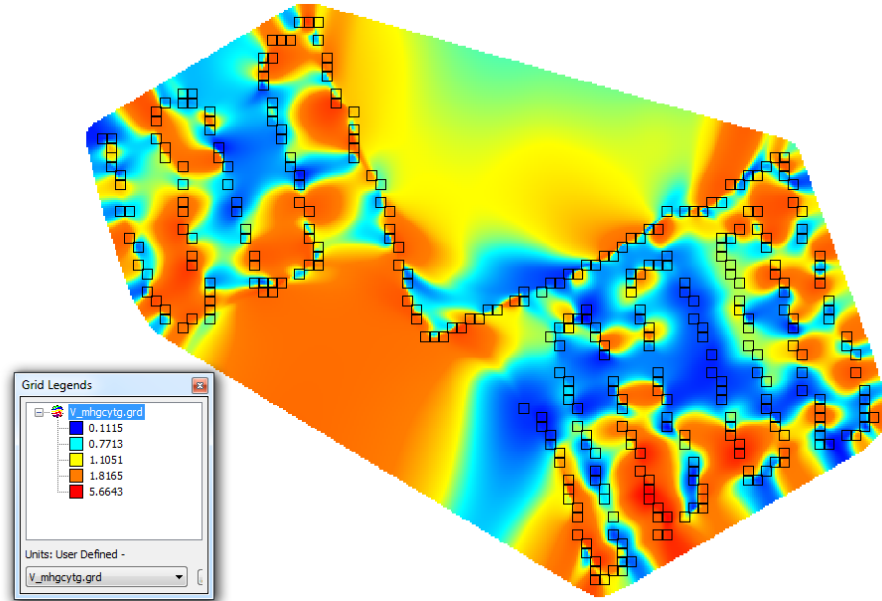
Şekil 4.29. a) 100kHz-8GHz frekanslarında alınan anlık ölçümlerle çizilmiş 2D uyumluluk haritası, b) GSM & UMTS frekanslarında alınan anlık ölçümlerle çizilmiş 2D uyumluluk haritası c) 100kHz-8GHz frekanslarında alınan anlık ölçümlerle çizilmiş 2D contour haritası, d) GSM & UMTS frekanslarında alınan anlık ölçümlerle çizilmiş 3D contour uyumluluk haritası

Sonuç olarak tıp merkezi içerisinde ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerlerinden; genel elektrik alan kirliliğinin büyük kısmını, GSM & UMTS frekanslarındaki değerlerin dışındaki elektromanyetik alan kaynaklarının oluşturduğu söylenebilir. Buna göre hastanenin 100kHz-8GHz frekans aralığında çizilmiş elektrik alan şiddeti uyumluluk haritaları aşağıdaki gibidir. Tıp Merkezi içerisindeki ölçümlerde elektromanyetik alan şiddeti değerinin en yüksek olduğu bölgelerden ikinci sırada, hastane yönetim ofislerinin bulunduğu bölge olduğu saptanmıştır. Bu bölgede yapılmış olan GSM & UMTS frekanslarındaki ölçümlerde elektrik alan şiddetinin ortalama değeri $E_{ort} = 0,8[\text{V/m}]$ olarak belirlenmiştir (Ek 3).



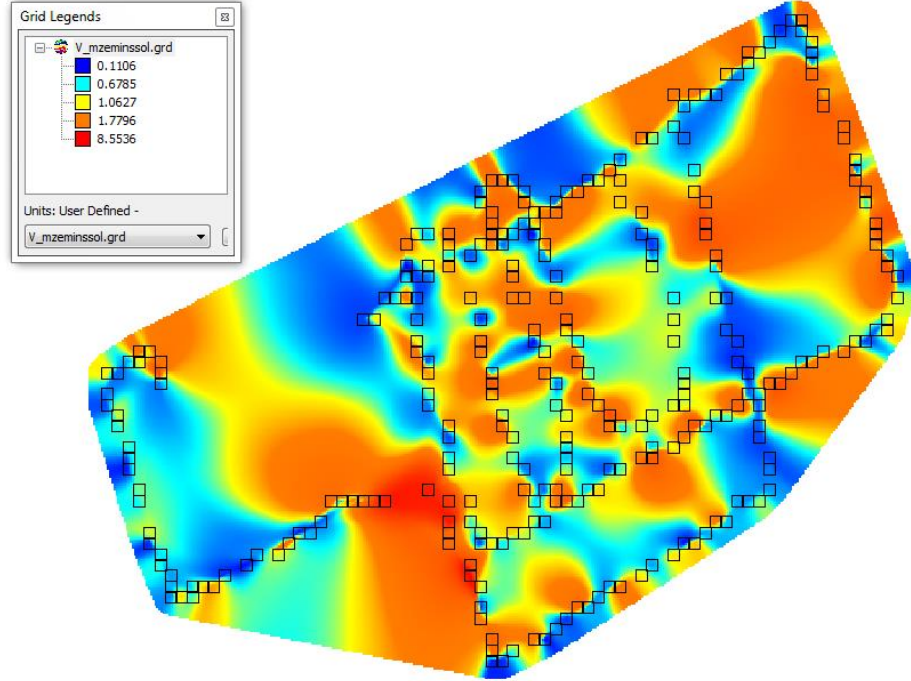
Şekil 4.30. Zemin kat poliklinikler 1. bölgede ki 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan uyumluluk haritası

Zemin kat 1. bölge Göğüs Hastalıkları, Nöroloji, Beyin Cerrahi, Cildiye, İntaniye, Kardiyoloji, Üroloji, Nefroloji, Ortopedi ve Kalp Damar Cerrahi Polikliniklerini kapsamaktadır. Bu bölgelerde ölçülmüş elektromanyetik alan değerlerine göre çizilmiş elektromanyetik alan uyumluluk haritası Şekil 4.30'da verilmiştir. Bu bölgede en yüksek elektrik alan şiddeti değeri ise $E_{max} = 10[V/m]$ olarak ölçülmüştür.



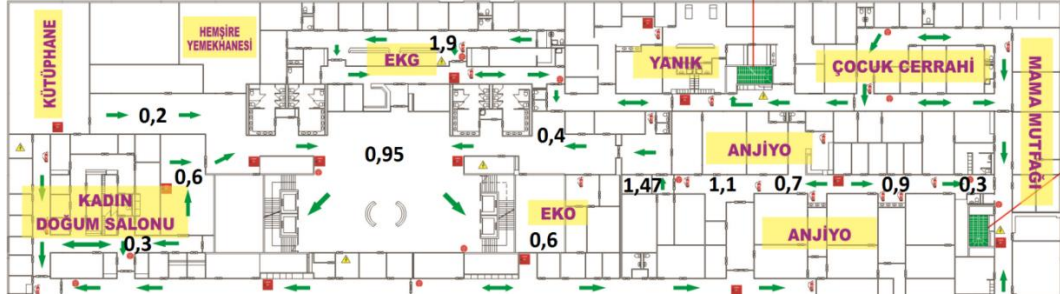
Şekil 4.31. Zemin kat poliklinikler 2. bölgede ki 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan uyumluluk haritası

Tıp Merkezi girişinde bulunan 2. bölge çocuk acil, sosyal hizmetler, pediatri polikliniği, acil radyoloji, eczane ve yoğun bakım ünitelerini kapsamaktadır. Bu bölgede ölçülmüş elektromanyetik alan değerlerine göre çizilmiş elektromanyetik alan uyumluluk haritası Şekil 4.31'de verilmiştir. Bu bölgedeki ortalama elektrik alan şiddeti değeri $E_{ort} = 5,6[V/m]$ 'dir.



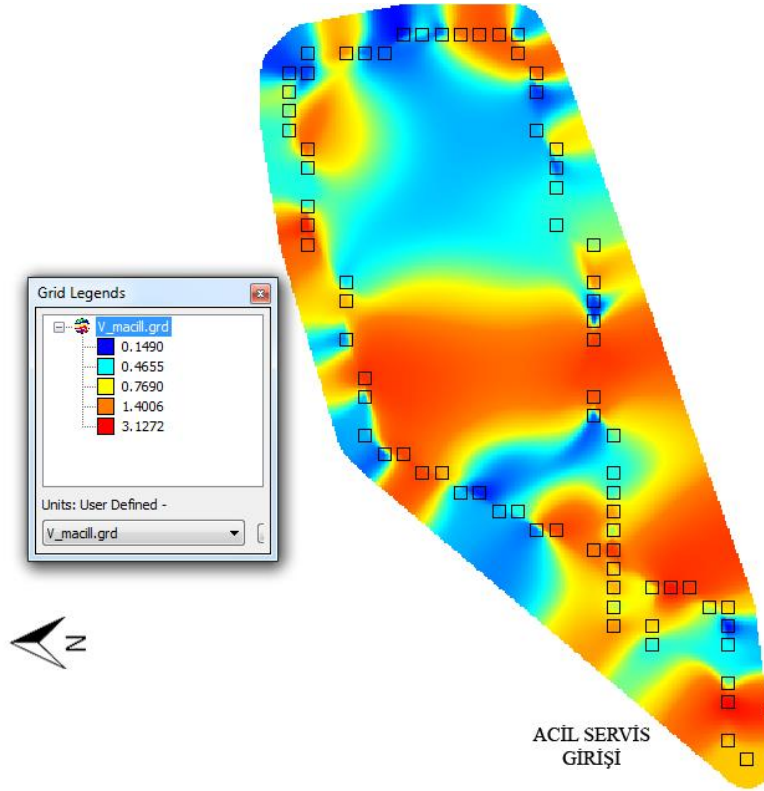
Şekil 4.32. Zemin kat poliklinikler 3. bölgedeki 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan uyumluluk haritası

Tıp Merkezi zemin katında bulunan 3. bölge Kadın doğum, Göz, Plastik Cerrahi, KBB, Fizik Tedavi poliklinikleri ve kan alma bölümlerini içermektedir. Bu bölgede ölçülmüş olan elektromanyetik alan değerlerine göre çizilmiş elektromanyetik alan uyumluluk haritası Şekil 4.32'deki gibidir. Bu bölgedeki ortalama elektrik alan şiddeti değeri $E_{ort} = 8,5[V/m]$ 'dir. Hastanenin bodrum katları olan B1 ve B2 katlarında GPS sinyallerine erişim sağlanamadığı için ölçüm değerlerinin koordinatları alınamamıştır. Bu sebepten dolayı koordinatlara göre uyumluluk haritaları çizilememiştir. Bu bölgedeki uyumluluk düzeylerinin belirlenebilmesi için Şekil 4.33'te belirtilmiş olan noktalardaki ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri verilmiştir.



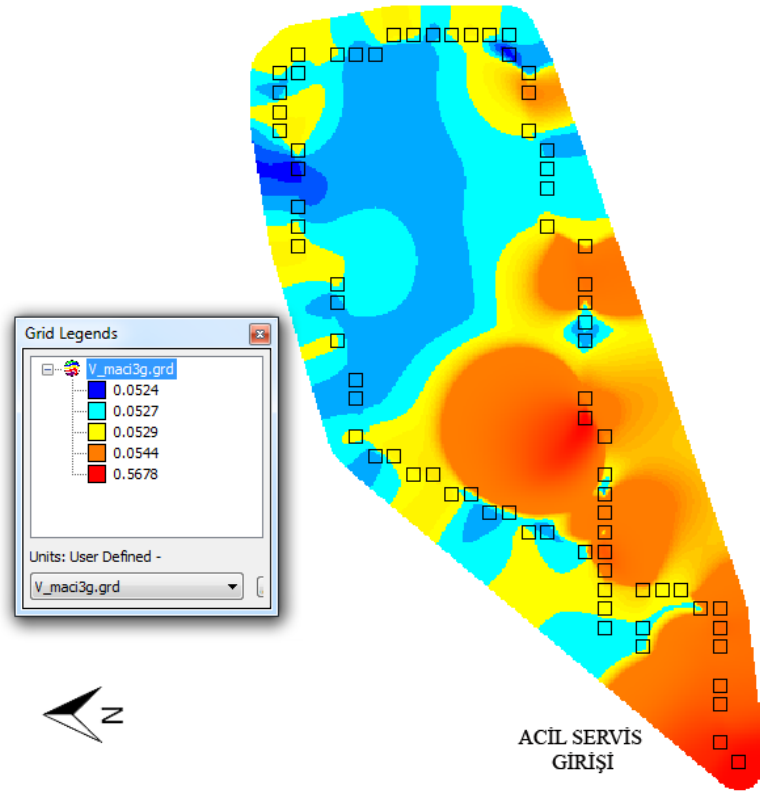
Şekil 4.33. B1 ve B2 katlarında 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülmüş, elektrik alan şiddeti değerleri.

Acil servis içerisinde 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülmüş olan değerlere göre çizilmiş elektromanyetik alan uyumluluk haritası Şekil 4.34'deki gibidir. Bu elektrik alan şiddetinin ortalama değeri $E_{ort} = 3,1[V/m]$ 'dir.



Şekil 4.34. 100kHz-8GHz frekans aralığında Acil Servis içerisinde elektrik alan uyumluluk haritası

Acil servis içerisinde GSM & UMTS frekanslarında ölçülen değerlere göre çizilmiş elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası Şekil 4.35'de verilmiştir. Bu elektrik alan şiddetinin ortalama değeri $E_{ort} = 0,5[V/m]$ 'dir. Acil servis içerisindeki ölçümlerden de görülmektedir ki bu bölgede genel olarak elektrik alan seviyesini yükselten tıp merkezi içerisindeki iç kaynaklardır.



Şekil 4.35. GSM & UMTS frekanslarında Acil Servis içerisinde elektrik alan uyumluluk haritası

Görüldüğü gibi elektromanyetik kirliliğin yoğun olduğu bölgeler çalışmanın yapıldığı katta yeterince geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu nedenle hastane içerisindeki katlarda ve bölgelerde elektrik alan şiddeti değerlerinin frekans spektrumuna göre değerlendirilmesine gereksinim duyulmuştur. Bu amaçla örnek olarak hastane içerisindeki elektrik alan şiddetinin yüksek olduğu bir bölgede AAronia Spectran HF-60105 cihazı kullanılarak, 30MHz-9GHz frekans aralığında spektrum analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuç Şekil 4.36'da paylaşılmıştır.

Ülkemizde mevcut olan ölçüm standartlarına göre [91] sağlık kuruluşlarında kurulacak elektronik haberleşme cihazlarının; tıbbi cihazların etkilenmemesi amacıyla ortamda oluşturacağı elektrik alan şiddet değeri, $E= 3$ [V/m]'yi geçemez. Yukarıda sunulan sonuçlara göre zemin kat polikliniğinde her üç bölgede de ölçülen elektromanyetik alan şiddetleri bu değerlerden yüksektir. Hastane dışında yapılmış olan sürekli ölçümler ve hastane içerisinde alınmış olan anlık ölçümler kıyaslandığında; hastane içerisindeki elektromanyetik dağılım seviyesinin, hastanenin dış ortamına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.



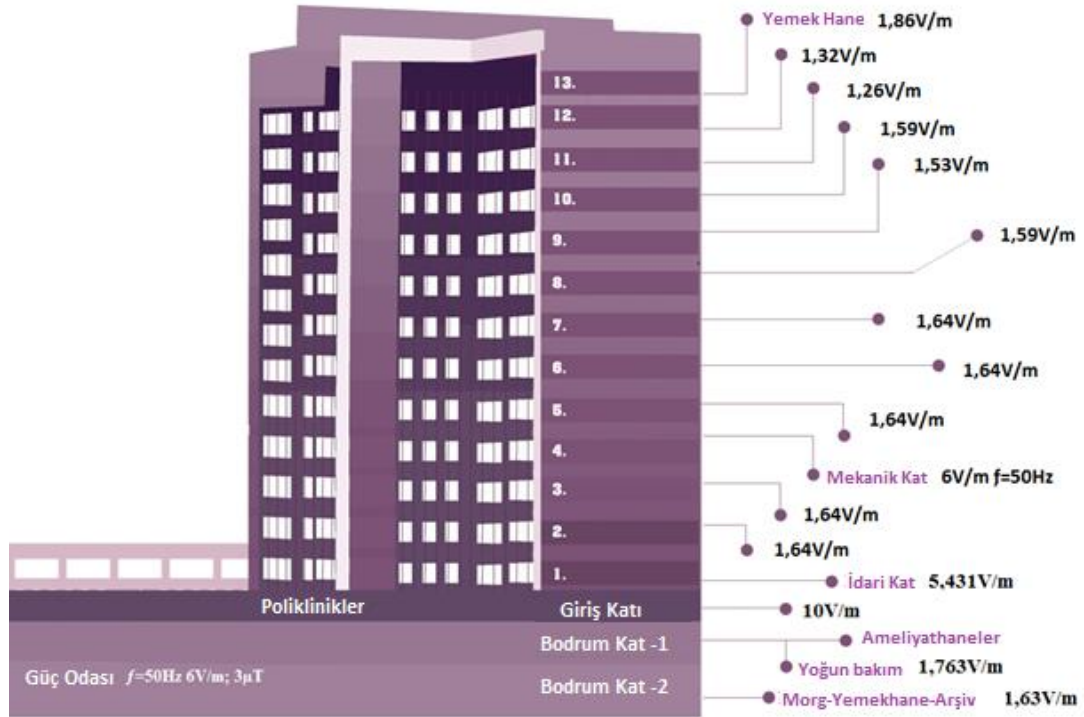
Şekil 4.36. Hastane içerisinde elektrik alan kaynaklarını ve frekans değerlerini belirlemek amacıyla yapılmış olan spektrum analizi.

Bu geniş frekans bandında yapılmış olan spektrum analizinde farklı frekanslara ait olan sinyallerin en yüksek ve en düşük elektrik alan şiddeti değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. VHF, VHF-TV, UHF-TV, ISM-433, ISM-868, GSM900MHz, GSM1800MHz, UMTS2100MHz ve Wi-Fi 5,8GHz frekanslarında alınmış en yüksek ve en düşük elektrik alan şiddeti değerleri

SPEKTRUM	E_f [V/m]	
	MAX	MIN
VHF (Çok Düşük Frekans) 3-30KHz	1,4 [mV/m]	0,3 [mV/m]
VHF-TV (Çok Yüksek Frekans) 30-300MHz	0,8 [mV/m]	0,15 [mV/m]
UHF-TV (Ultra Yüksek Frekans) 300-3000MHz	1,8 [mV/m]	0,4 [mV/m]
ISM-433 (Industrial Scientific Medical band)	525 [μ V/m]	200 [μ V/m]
ISM-868 (Industrial Scientific Medical band)	1300 [μ V/m]	830 [μ V/m]
GSM900 UPLINK	3 [mV/m]	1,15 [mV/m]
GSM900 DOWNLINK	3,25 [mV/m]	1,3 [mV/m]
GSM1800 UPLINK	1,8[mV/m]	0,4 [mV/m]
GSM1800 DOWNLINK	1,5 [mV/m]	0,3 [mV/m]
UMTS2100 UPLINK	9 [mV/m]	1 [mV/m]
UMTS2100 DOWNLINK	1 [mV/m]	1,3 [mV/m]
WI-FI 5.8GHZ	400 [mV/m]	300 [mV/m]

Hastane içerisinde 1ms'lik örneklemelerle alınmış, spektrum analizinden de görüldüğü gibi (Çizelge 4.3) hastanenin iç mekânlarında dağılım gösteren Radyo ve Televizyon yayıncılığı frekanslarından başlamak üzere, ISM, telsiz haberleşmesi, GSM 900MHz & 1800MHz, UMTS 2100MHz, WLAN vs frekanslarını içeren birçok farklı elektromanyetik alan kaynağının etkisi söz konusudur. Hastanenin kule kısmında bulunan 13 katta da 100kHz-8GHz ve GSM & UMTS frekanslarında yapılmış olan ölçüm sonuçlarına göre her bir kata ait en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.37. Hastane içerisinde 100kHz-8GHz, GSM & UMTS, ve 50Hz güç frekansında katlarda ölçülmüş olan en yüksek elektrik ve manyetik alan değerleri

Şekil 4.37'den görüldüğü gibi elektromanyetik kirliliğin en yoğun olduğu bölgeler polikliniklerin bulunduğu giriş katı ve idari birimlerin bulunduğu 1. kattır ($E_{max} = 10[V/m]$). Bodrum kat-1 ve bodrum kat-2'de yapılmış olan ölçümlerde, bu katların büyük bir kısmında GSM & UMTS frekanslarında ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri çağrı kurulması için yeterli seviyede değildir. Bu durumda baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik alan etkisinden ziyade cep telefonlarının, baz istasyonu sinyallerini yakalayabilmek için yaymış oldukları lokal elektromanyetik alan etkisini göz önüne almak gerekir. Cep telefonları sinyal seviyesinin düşük olduğu durumlarda daha fazla güç harcayarak baz istasyonu sinyallerini yakalamaya çalışmaktadır.

4.5.2 Turgut Özal Tıp Merkezi'nde yapılmış olan alçak (güç) frekanslı elektromanyetik alan ölçümleri ve sonuçları

TÖTM'nin güney batı cephesinde bulunan şalt sahasının, güç frekansındaki hastaneye olan etkisini gözlemleyebilmek amacıyla şalt sahasından başlanılarak, Şekil 4.28'de kırmızı hat ile gösterilmiş istikamette, 5'er dakikalık periyotlarda ve her seferinde hastaneye 5m yaklaşmak suretiyle dış mekân ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da çalışma ile ilgili görseller paylaşılmıştır. Yapılmış olan tüm bu ölçüm sonuçları ile ilgili detaylar aşağıdaki gibidir.



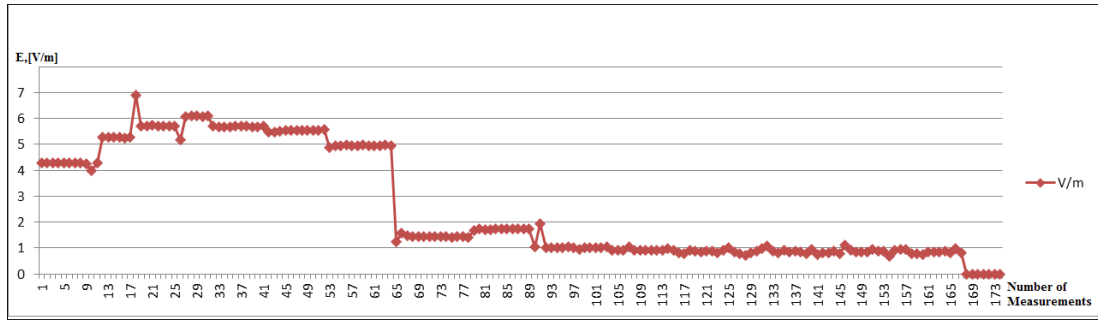
Şekil 4.38. Şalt sahası yakın bölgesinde, güç frekansında elektromanyetik alan ölçümü



Şekil 4.39. Turgut Özal Tıp Merkezi'nin yakın bölgesinde, güç frekansında elektromanyetik alan ölçümü

Şalt sahasından, tıp merkezine kadar olan güzergâhta yapılmış olan 50Hz güç frekansına ait elektrik alan şiddeti ölçümlerinde; ilk olarak şalt sahasının içerisinde 20 saat süre ile 2300 ölçüm alınmıştır, bu ölçümler neticesinde şalt sahası içerisindeki ortalama elektrik alan şiddeti değeri $E_{ort} = 95[V/m]$ olarak belirlenmiştir. Şalt sahasından, tıp merkezine doğru olan güzergâh üzerindeki elektrik alan şiddetinin mesafe bazlı değişimi ölçülmüş ve grafiği de Şekil 4.40'da verilmiştir.

Şekil 4.40'dan da görüldüğü gibi hastanenin dış bölgesinde bulunan güç frekanslı bir elektromanyetik alan kaynağı olan şalt sahasından, hastanenin sınırına kadar elektrik alan şiddeti değerinin azaldığı ve hastane sınırında sıfırlandığı belirlenmiştir.



Şekil 4.40. Şalt sahası, araştırma hastanesi güzergâhında 50Hz elektrik alan değişim grafiği

Hastane içerisinde 2. kat bodrumunda bulunan güç ünitesinde, enerji sarfiyatının yüksek olduğu çalışma saatleri içerisinde Narda EHP 50D ile yapılmış olan elektrik alan ölçümünde en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max} = 6[V/m]$, ortalama elektrik alan şiddeti değeri $E_{ort} = 0,526[V/m]$ olarak belirlenmiştir. Çalışma ile ilgili görseller Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de paylaşılmıştır.



Şekil 4.41. Turgut Özal Tıp Merkezi B2 katında trafo bölgesinde düşük (güç) frekansındaki elektromanyetik alan ölçümü

Bu katta Wavecontrol SMP Metre (10Hz-3kHz) ile yapılmış olan anlık manyetik alan ölçümlerinde de en yüksek manyetik alan yoğunluğu değeri $B_{max} = 3 \mu\text{T}$, ortalama manyetik alan yoğunluğu değeri $B_{ort} = 2,285 \mu\text{T}$ olarak ölçülmüştür. Hastane içerisinde bulunan enerji dağıtım panolarının önünde yapılmış olan ölçümlerde manyetik alan yoğunluğu değeri $B \cong 0 \text{ T}$ olarak ölçülmüştür. Buna göre panoların izolasyonlarının yeterli seviyede olduğu ve sorun teşkil edecek ulusal limitlerin üzerinde herhangi bir ölçüm sonucuna rastlanılmamıştır.

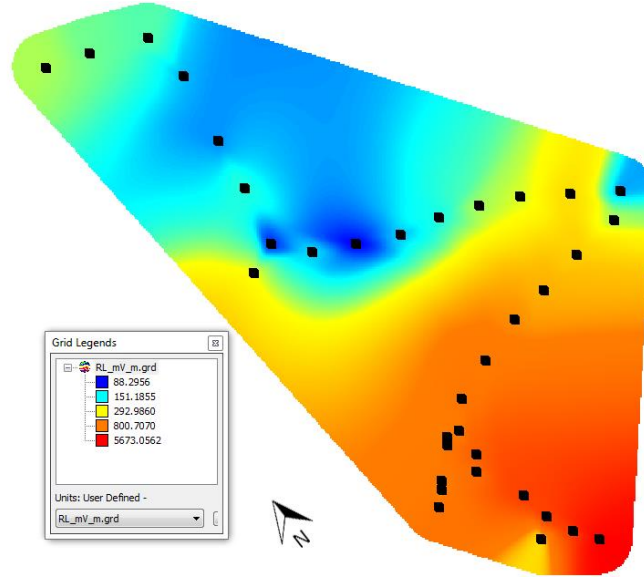


Şekil 4.42. Turgut Özal Tıp Merkezi B2 katında düşük (güç) frekansında elektromanyetik alan ölçümü

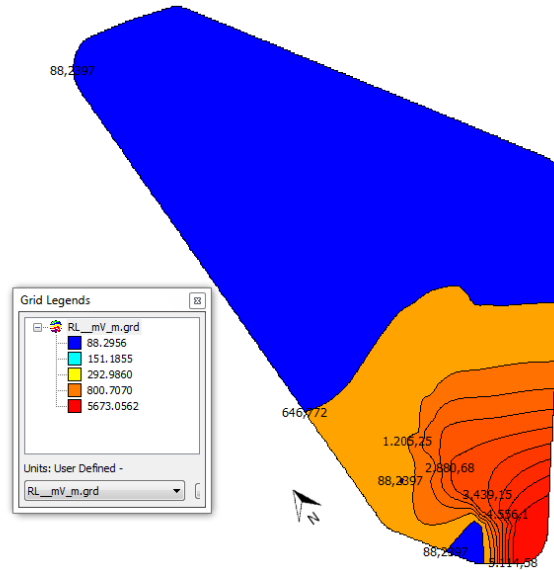
Son olarak 24 saat çalışanların bulunduğu güvenlik kamera odasında yapılmış olan ölçümlerde, izleme amacıyla kullanılan CRT ekranların ön kısmında en yüksek manyetik alan yoğunluğu değeri $B_{max} = 9 \mu\text{T}$, ortalama manyetik alan yoğunluğu da $B_{ort} = 3,84 \mu\text{T}$ olarak ölçülmüştür. Oda içerisinde bulunan kesintisiz güç kaynağının etrafında yapılan ölçümlerde en yüksek manyetik alan yoğunluğu değeri $B_{max} = 29 \mu\text{T}$, ortalama manyetik alan yoğunluğu değeri $B_{ort} = 20,05 \mu\text{T}$ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar incelendiğinde büyük bir tıp merkezinde düşük frekans elektromanyetik dağılım etkilerinin aslında çok düşük seviyelerde olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle hastane içerisinde yüksek frekanslı elektromanyetik alanların etkisinin, daha etkin seviyelerde olduğu gözlenmektedir. Yüksek frekanslı sinyallerin sistem, aygıt ve özelliklede canlılar üzerinde ciddi etkileri göz önüne alındığında bu ortamlardaki elektromanyetik kirliliğin mümkün olduğunca düşük seviyelere çekilmesi önem arz etmektedir.

4.6. Radyolink İstasyonunda Yapılmış Olan Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanların Anlık Ölçümleri ve Sonuçları

Çalışmada, metropol bir şehrin şehir merkezine yakın bir bölgede bulunan, yüksek frekanslarda çalışan sistemlerin yoğun olarak yer aldığı radyolink istasyonu pilot bölge olarak seçilmiştir [31,35,36]. Ölçümlerde frekans spektrumu yapabilmek amacıyla Narda SRM 3006 cihazı ve 27MHz-3GHz probu kullanılmıştır. Yapılan çalışmada çok yüksek frekanslı elektromanyetik alanların dağılımı ve seviyeleri belirlenmiş, elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğu dağılım haritaları çizilmiştir. Haritaların çizilmesinde, belirlenmiş frekans gruplarında ölçüm alınan koordinatlardaki en yüksek elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğu değerleri referans olarak seçilmiştir. Seçilen değerler koordinatları ile harita üzerine yerleştirilerek ölçüm yapılan bölgelerin, belirlenmiş olan frekans grubuna ait elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğunun maksimum değerlerini de içeren haritalar çizilmiştir. Harita üzerinde en düşük değerler mavi renk tonlarıyla, en yüksek değerler ise kırmızı renk tonlarıyla gösterilmiştir. Anlık ölçüm sonuçlarına göre elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğunun bu bölgedeki en yüksek olduğu noktalar tespit edilmiştir. Bu bölgede bulunan ortamdaki elektromanyetik alan kaynaklarının 100kHz-8GHz aralığındaki frekansların analizi Spectran HF-60105 ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bir metropol şehirde yüksek frekanslarda elektromanyetik kirliliğinin yoğun olduğu veya ölçülen elektrik alan şiddeti değerinin en yüksek olduğu bölge, Radyolink istasyonunun bulunduğu bölge olduğu saptanmıştır. Zira bu bölgede özellikle Radyo & TV yayıncılığına ait sistemler ve farklı amaçlarla kullanılan kablosuz haberleşme sistemleri çok yoğun olarak yer almaktadır. Ayrıca 1137 m rakıma sahip bu bölgede oldukça yoğun bir şekilde yer alan sistemler birbirinden farklı ve sabit çıkış gücü, anten yüksekliği, Radyo link istasyonunda bulunan iletişim sistemlerinin kaynağına yaklaştıkça artan elektrik alan şiddeti değerlerinin değişimi Şekil 4.43'de görülmektedir. Şekildeki siyah kareler ölçüm alınan noktaları göstermektedir. Bu bölgede anlık ölçümlerle alınan en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max} = 5,6$ [V/m] olarak ölçülmüştür. Şekil 4.44'de ise bu bölgenin contour haritası verilmiştir. Bu haritada, yukarıda bahsedilmiş olan uygun renk tonlarıyla elektrik alan şiddetinin değişimi ifade edilmiştir. Şekil 4.44'deki contour haritası incelediğinde kaynağa yaklaştıkça elektrik alan şiddeti seviyesinin net bir şekilde yükseldiği görülmektedir.

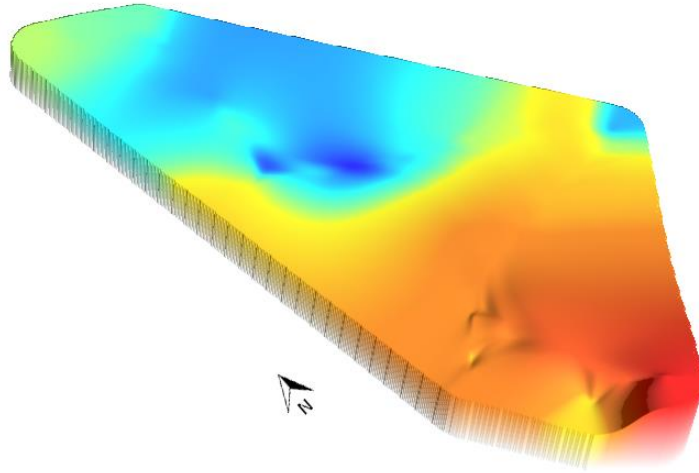


Şekil 4.43. Radyolink bölgesinde 27MHz-3GHz frekans aralığında ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerleriyle çizilmiş EMCM



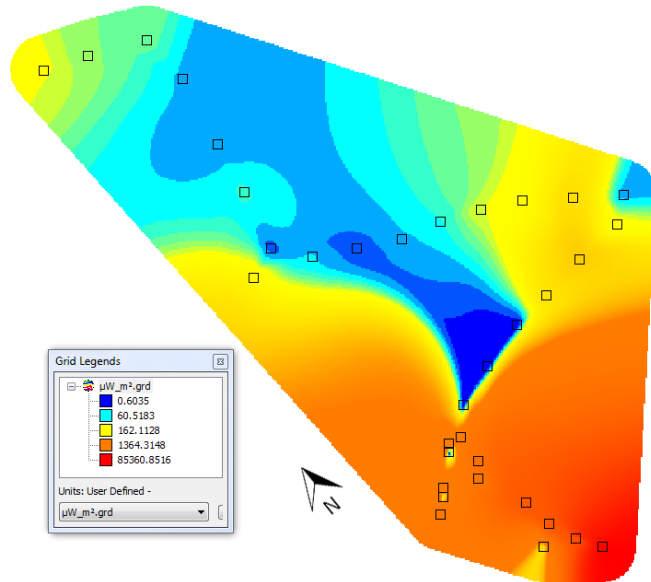
Şekil 4.44. Radyolink bölgesinde elektrik alan şiddetinin contour haritası

Şekil 4.45’de ise ölçülmüş olan anlık elektrik alan şiddeti değerlerden yararlanılarak Radyolink bölgesinin 27MHz-3GHz frekans aralığında çizilmiş üç boyutlu elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi incelenen bölgenin büyük bir kısmı orta ve yüksek frekans ağlarıyla kuşatılmıştır.



Şekil 4.45. Radyolink bölgesinde 27MHz-3GHz frekans aralığında ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerleriyle çizilmiş 3D EMCM

Uluslararası ve ulusal organizasyonlar tarafından belirlenmiş olan standartlarda [91-94] esasen elektrik alan şiddeti ile birlikte güç yoğunluğu değerlerinin de göz önüne alınması ve değerlendirilmesi ön görülmektedir. Buna göre radyolink bölgesinde 27MHz-3GHz frekanslarında çalışan sistemlerin ölçülmüş elektromanyetik alan güç yoğunluğunun en yüksek değeri $S=85,3\text{mW}/\text{m}^2$ olarak tespit edilmiştir. Radyolink bölgesinin farklı noktalarındaki güç yoğunluğu uyumluluk haritası ise Şekil 4.46'da verilmiştir.

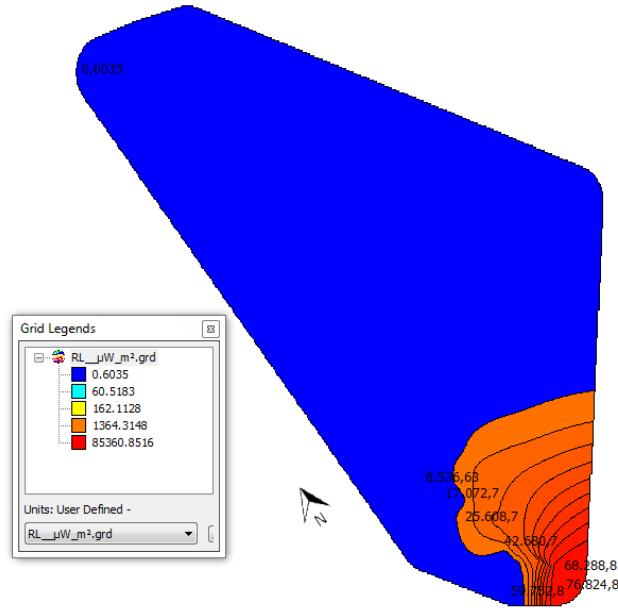


Şekil 4.46. Radyolink bölgesinin güç yoğunluğu uyumluluk haritası

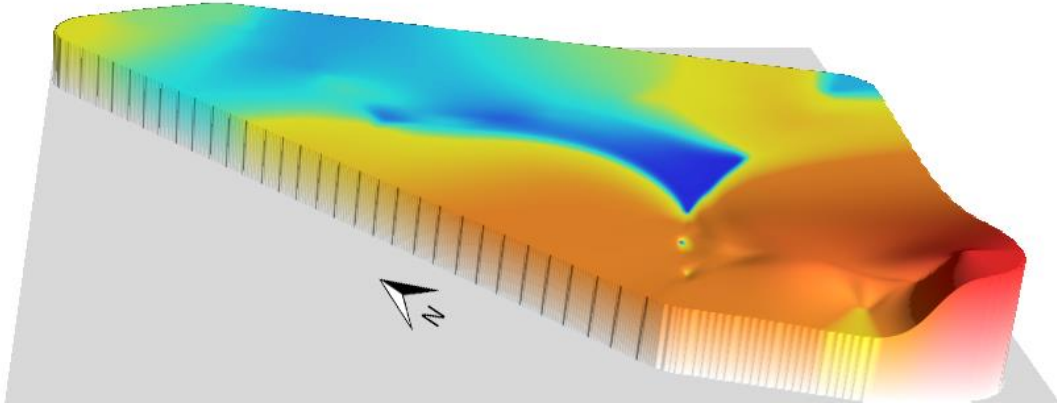
Şekil 4.46'dan görüldüğü gibi metrekare başına düşen güç değerleri antenlerin bulunduğu belirli bir bölgede yoğunlaşmaktadır. Bu yoğunluğun etkin değerlerinin gözlenmesi amacıyla çizilmiş contour haritası Şekil 4.47'de verilmiştir. 27MHz-3GHz frekans aralığında çalışan sistemlerin bulunduğu Şekil 4.47'den görüldüğü gibi Radyolink bölgesinde, "belirli bir bölgede" metrekare başına düşen güç hızla artmaktadır. Son olarak Şekil 4.48'de, Radyolink bölgesinde 27MHz-3GHz frekanslarında çalışan sistemlerin güç yoğunluğu dağılımının üç boyutlu uyumluluk haritası görülmektedir.

Şekil 4.43 ve Şekil 4.46 birlikte değerlendirildiğinde hem elektrik alan şiddetinin, hem de güç yoğunluğu dağılımlarının incelenen bölgelerdeki artışı açıkça görülmektedir.

Sonuç olarak bu ölçümler neticesinde Radyolink bölgesinde elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğu değerlerinin yüksek olduğu bölge net olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar çalışmanın ileri kısımlarındaki sürekli elektromanyetik alan ölçüm bölgelerinin belirlenmesi için referans olarak kullanılmıştır.

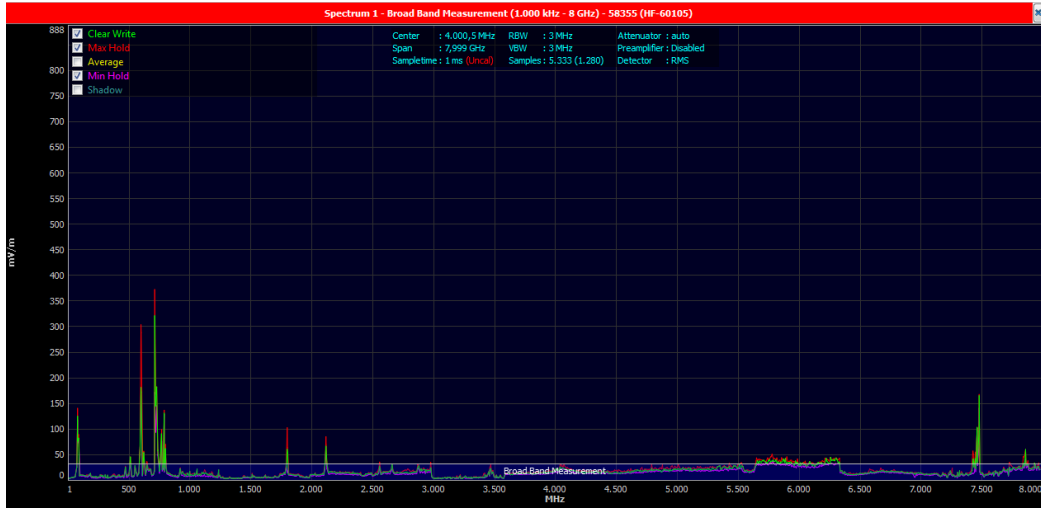


Şekil 4.47. Radyolink bölgesinde güç yoğunluğu değişiminin contour haritası



Şekil 4.48. Radyolink bölgesinde güç yoğunluğunun üç boyutlu uyumluluk haritası

Radyolink bölgesinde elektromanyetik kirliliği oluşturan sinyallerin kaynağını belirlemek için bu sinyallerin spektrum analizleri yapılmıştır. Spectran AAronia HF-60105 cihazıyla yapılmış ve 1ms'lik örnekleme periyotlarıyla alınmış anlık, maksimum ve minimum değerlerin yer aldığı spektrum analizi Şekil 4.49'da verilmiştir. Spektrum analizi incelendiğinde radyolink bölgesinde elektrik alan şiddetinin esasen Radyo & TV ve GSM frekanslarında baskın olduğu net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.49. Radyolink bölgesinde 100kHz-8GHz frekans aralığında yapılmış olan spektrum analizi

Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde, İnönü Üniversitesi yerleşkesinde, Turgut Özal Tıp Merkezinde ve Radyolink istasyonunda yapılan anlık ölçümlerde görülmüştür ki elektrik alan şiddetinin değerleri bir bölge içerisinde, farklı zamanlarda değişkenlik göstermektedir. Bu değişimi gözlemleyebilmek, değişime

etki eden faktörleri belirleyebilmek ve yapılan ölçümler ile belirli bir zamandaki elektrik alan şiddeti değerlerini tahmin edebilen matematiksel yöntemler geliştirebilmek için sürekli ölçüm sistemleri oluşturmak gerekmektedir. Bu amaçla yukarıda belirtilmiş olan bölgelere 2012 yılında kurulmuş ve günümüzde halen çalışmakta olan sürekli ölçüm sistemleri oluşturulmuştur. Bu sürekli ölçüm sisteminden elde edilen sonuçlar bir sonraki kısımda sunulmuştur.

4.7. Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alan Değerlerinin Sürekli Ölçüm Sistemleriyle Ölçülmesi ve İzlenmesi

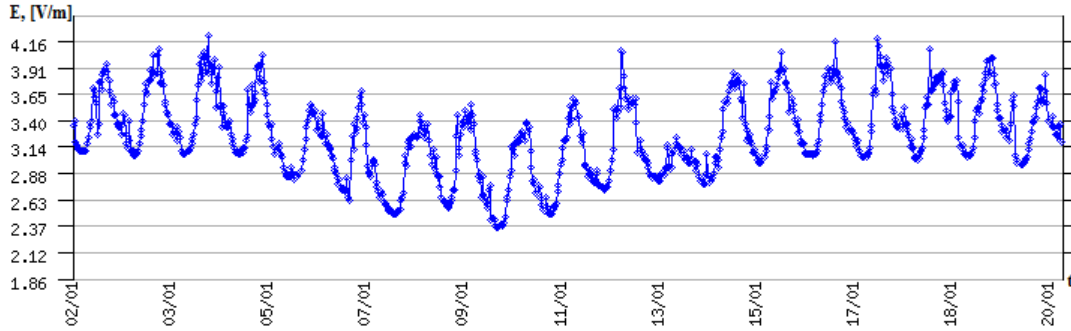
4.7.1 Malatya şehir merkezinde yapılmış olan yüksek frekanslı elektromanyetik alanların sürekli ölçümleri ve sonuçları

Sürekli ölçüm sistemi 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan geniş band MonitEM sistemi ve GSM & UMTS frekanslarında çalışan MonitEM sistemleriyle yapılmıştır. 2012 yılında Malatya şehir merkezinde başlanılmış olan çalışma ile sürekli ölçümler alınarak günün her anındaki elektrik alan şiddeti değişimleri ölçülmüştür [28-30,34]. 100kHz-8GHz frekans aralığında ve GSM & UMTS frekanslarındaki sürekli elektrik alanları ölçme ve izleme istasyonları 02 - 20 Ocak 2013 periyodunda, Malatya şehir merkezinde, birbirlerinin çalışmalarını etkilemeyecek şekilde aynı bölgede konumlandırılmış ve sürekli ölçümler alınmıştır. Şekil 4.50.'de şehir merkezine konumlandırılmış iki MonitEM sürekli elektrik alanları ölçüm ve izleme istasyonu görülmektedir.

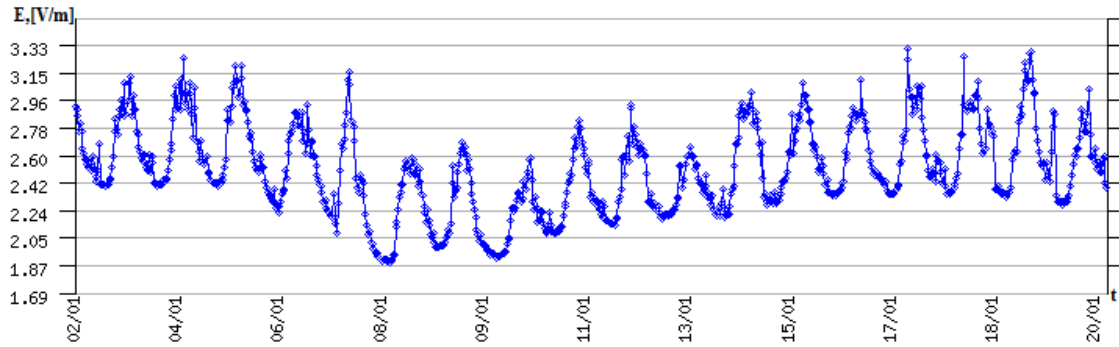


Şekil 4.50. Şehir merkezine konumlandırılmış iki MonitEM sürekli elektrik alanları ölçüm ve izleme istasyonu

Eş zamanlı çalışma süresince toplam 3.000.000'un üzerinde ölçüm alınmıştır. Bu ölçümlerin yarımşar saatlik periyotlarla derlenmiş 862 elektrik alan şiddeti değerlerine göre şu sonuçlara ulaşılmıştır. 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülen yüksek elektrik alan değeri $E_{max} = 4,22[V/m]$ ve periyot boyunca ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalaması $E_{ort} = 3,24[V/m]$ 'dir. GSM & UMTS frekanslarından ölçüm alan istasyonun ölçmüş olduğu en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max} = 3,31[V/m]$ ve periyot boyunca ölçülmüş ortalama değer ise $E_{ort} = 2,508[V/m]$ 'dir. Şekil 4.51'de 02 - 20 Ocak 2013 periyodunda, Malatya şehir merkezinde, 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişimi görülmektedir. Şekil 4.52'de ise aynı periyotta, Malatya şehir merkezinde, GSM & UMTS frekans aralığında ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişimi verilmiştir.



Şekil 4.51. 02 - 20 Ocak 2013 periyodunda Malatya şehir merkezinde 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği

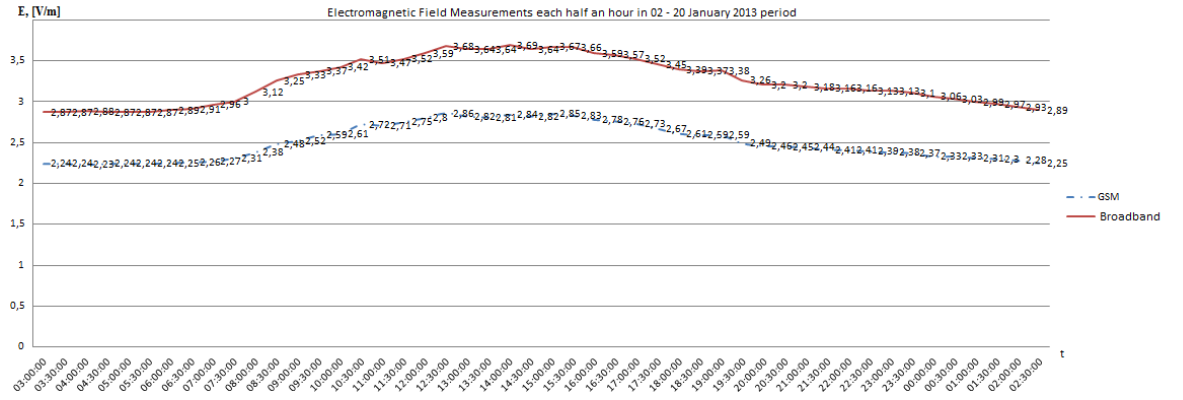


Şekil 4.52. 02 - 20 Ocak 2013 periyodunda, Malatya şehir merkezinde, GSM & UMTS frekans aralığında ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişimi

Ölçümler sonucu elde edilen sonuçlara göre ortamda bulunan elektrik alan şiddeti değerlerinin %77'si baz istasyonlarınca ortama yayılan elektrik alan değeri olup kalan %23'lük kısım ise 100kHz-8GHz frekans aralığında yayın yapan radyo, televizyon ve telekomunikasyon amaçlı sistemlerden kaynaklanmaktadır. 2011 yılında Malatya genelinde anlık olarak yapılan frekans spektrumlu ölçümlerde GSM

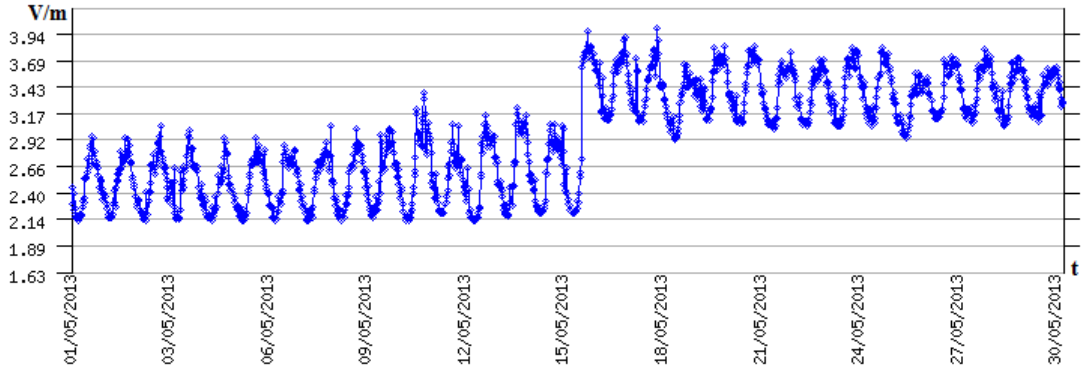
900MHz & 1800MHz ve UMTS 2100MHz frekanslarında ölçülmüş elektrik alan seviyeleri %65, 100MHz ve altı frekanslarda ölçülmüş olan elektrik alan seviyelerinin %35 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bundan başka Şekil 4.51 ve Şekil 4.52'den görüleceği ölçüm periyodunda, belirli bir zaman diliminde elektrik alan şiddeti değerlerinin daha etkin değişimleri olmuştur. Bu değerler $E=3.33[V/m]$ 'den $E=2.60[V/m]$ 'ye kadar değişmiştir. Görüldüğü gibi bu değerler ölçüm alınan periyotta elde edilen ortalama değerlerden farklıdır. Dolayısıyla ölçüm periyodu içerisinde elektromanyetik alan şiddeti değerinin yalnız ortalama veya maksimum değere göre veya anlık ölçüm değerlerine göre değerlendirmek her zaman doğru olmayabilir. Bu sürekli ölçüm yönteminin gereksinimini bir daha ispatlamaktadır.

Bu sonuçları daha açık bir şekilde değerlendirmek için 02 - 20 Ocak 2013 tarihleri arasında ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerinin yarımsar saatlik ortalamaları bir grafik ile (Şekil 4.53) verilmiştir. Şekil 4.53'ten de görüleceği gibi söz konusu zaman aralığında geniş bant (100kHz-8GHz) ölçüm değerleri ile GSM & UMTS bantlarındaki ölçüm değerleri birbirine net bir paralellik ve karakteristik benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla ortamdaki elektrik alan şiddeti değerlerinin değişiminin esasen GSM & UMTS frekanslarında çalışan kaynakların (baz istasyonu) sebep olduğu söylenilebilir.

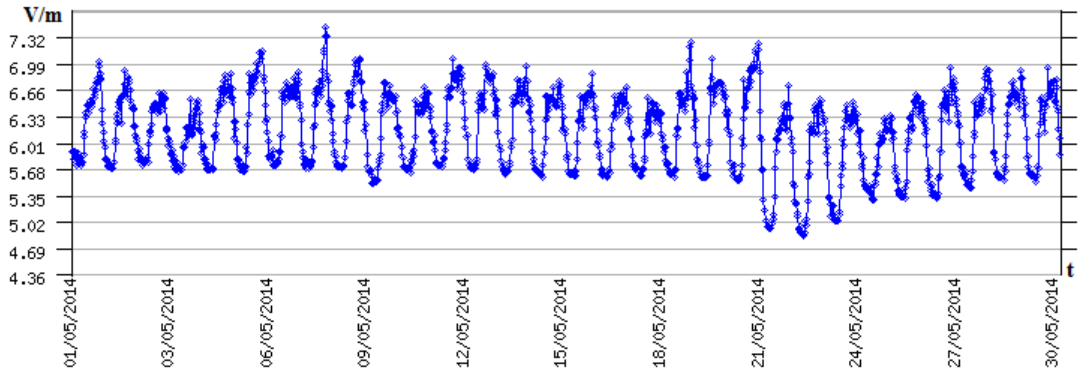


Şekil 4.53. 02 - 20 Ocak 2013 tarihleri arasında 100kHz-8GHz ve GSM & UMTS frekanslarında sürekli ölçüm sonuçlarının kıyaslanması

2012 Kasım ayından başlanılarak geçen iki yıllık süreçte Malatya şehir merkezinde birbirini takip eden yılların aynı dönemlerindeki sürekli ölçüm ve izleme istasyonu ile ölçülen elektrik alan şiddeti değişimleri incelenecek olursa; aşağıdaki sonuçlar elde edilir.



Şekil 4.54. 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülen 2013 yılı Mayıs ayına ait elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği

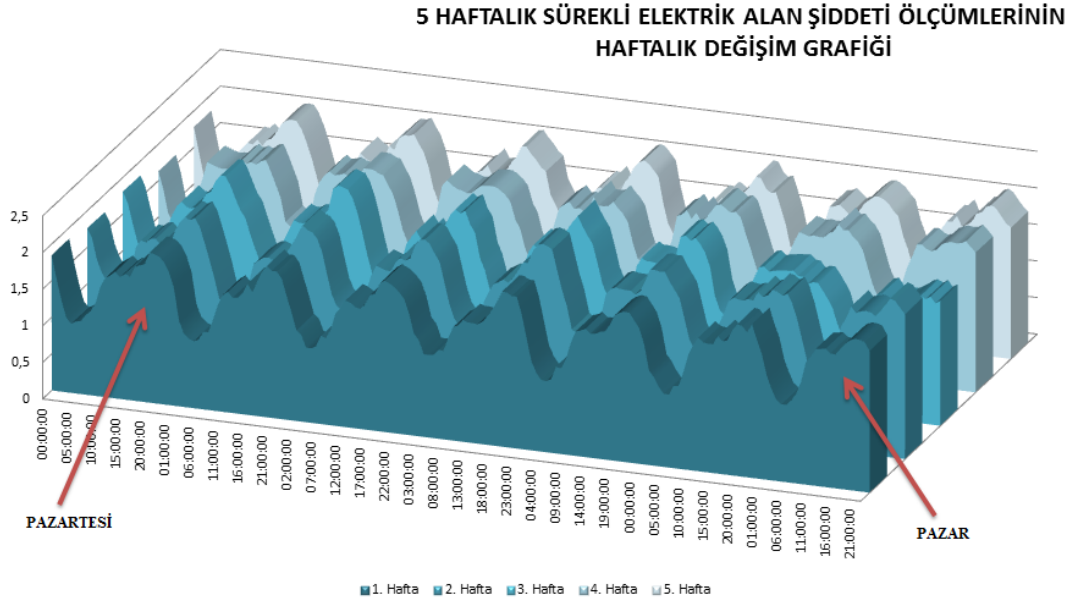


Şekil 4.55. 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçülen 2014 yılı Mayıs ayına ait elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği

2013 yılı Mayıs ayında 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan istasyona ait ortalama elektrik alan şiddeti değeri: 2,96 [V/m], en yüksek elektrik alan şiddeti değeri: 4 V/m'dir. 2014 yılı Mayıs ayında 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan istasyona ait ortalama elektrik alan şiddeti değeri: 6,16 [V/m], en yüksek elektrik alan şiddeti değeri: 7.45 [V/m] olarak ölçülmüştür. Bir yıl içerisinde metropol bir şehirde aynı noktada yapılmış olan sürekli elektromanyetik alan ölçüm sonuçlarına göre ortamdaki elektrik alanın ortalama değerinde %208, maksimum değerinde %186 artış göstermiştir [28-30,34].

Şekil 4.56'da, şehrin yoğun yaşam alanlarının bulunduğu bölgede, 5 hafta süresince, yapılmış GSM & UMTS frekanslarında sürekli elektromanyetik alan ölçüm değerlerinin, saatlik bazdaki değişiminin dağılım grafiği gösterilmiştir. Grafikte haftanın ilk günü pazartesi, son günü pazar olarak alınmıştır. Böylece elektrik alan şiddetinin zamanla değişimi haftaların aynı günlerine göre değerlendirilebilir.

Şehir merkezinde GSM & UMTS frekanslarında alınmış olan sürekli ölçümlerde, ortamdaki elektrik alan şiddetinin çalışma saatlerinde artış gösterdiği ve öğleden sonraki saatlerde (14:00-18:00) $E_{max} = 7.53[V/m]$ ulaştığı görülmektedir. Yerleşim alanlarının yoğun olarak yer aldığı bölgede alınmış sürekli ölçümlerde ise ortamdaki elektrik alan şiddetinin akşam çalışma saatleri sonrasında artış gösterdiği ve (18:00-22:30) $E_{max} = 2.36[V/m]$ ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.56. Yoğun yaşam alanlarının bulunduğu bölgede 5 haftalık periyotta sürekli olarak ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği

Özetle söylenecek olursa, sürekli ölçümlerden elde edilen verilere göre ortamda bulunan elektrik alan şiddetinin esas kaynağı baz istasyonlarıdır (Şekil 4.53). Birbirini takip eden yılların aynı dönemlerini içeren sürekli ölçüm sonuçlarına göre bir yıl içerisinde aynı noktada elektrik alanının ortalama değeri %208, maksimum değeri %186 artış göstermiştir (Şekil 4.54, Şekil 4.55). Şehir merkezi ve yoğun yaşam alanlarının bulunduğu bölgelerdeki elektrik alan şiddetinin değişimi stokastik olarak değişim göstermektedir (Şekil 4.56). Bu sonuçlara göre baz istasyonları, üzerindeki iletişim trafiğinin yoğunluğuna göre ortama yaydığı elektromanyetik alan seviyesi değişim göstermektedir. Bununla ilgili kestirim çalışmaları ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır.

4.7.2. Turgut Özal Tıp Merkezi'nde yapılmış olan yüksek frekanslı elektromanyetik alanların sürekli ölçümleri ve sonuçları

Tıp merkezine dış kaynaklardan etkiyen yüksek frekanslı elektromanyetik alanların etkilerinin belirlenmesi amacıyla 100kHz-8GHz ve GSM & UMTS frekanslarında ölçüm alan iki adet Wavecontrol MonitEM sürekli elektromanyetik alanları izleme istasyonu kullanılmıştır [25,28,29,33]. Yapılmış olan ölçümler neticesinde tıp merkezine dışardan etkiyen yüksek frekanslı elektromanyetik alan kaynaklarının seviyeleri belirlenmiştir. Tıp merkezi dışında bulunan yüksek frekansta çalışan Radyo ve TV istasyonları, GSM & UMTS baz istasyonlarının bir ay süre ile günün her anında sürekli ölçümleri alınmıştır. Sürekli elektromanyetik alanları ölçme ve izleme istasyonları hastanenin dış cephesine bakan birinci kat balkonuna konumlandırılmıştır. Geniş bant (100kHz-8GHz) sürekli ölçüm alan istasyon hastanenin radyo ve televizyon vericilerine bakan batı cephesine, GSM & UMTS frekansında sürekli ölçüm alan istasyon üç hafta süresince hastanenin kuzey cephesinde bulunan baz istasyonlarını görecektir şekilde konumlandırılmış, sonrasındaysa bir hafta süre ile hastanenin çatısında bulunan baz istasyonlarının yakın bölgesine konumlandırılarak sürekli ölçümler alınmıştır. Çalışmanın yapıldığı TÖTM'i bölgeleri Şekil 4.28'de görülmektedir. Şekilde TÖTM (A) ile gösterilmiştir. Şekil 4.28'de hastanenin kuzey bölgesinde bulunan baz istasyonları kırmızı ve mavi eliptik şekil ile belirtilmiştir (B ve C).

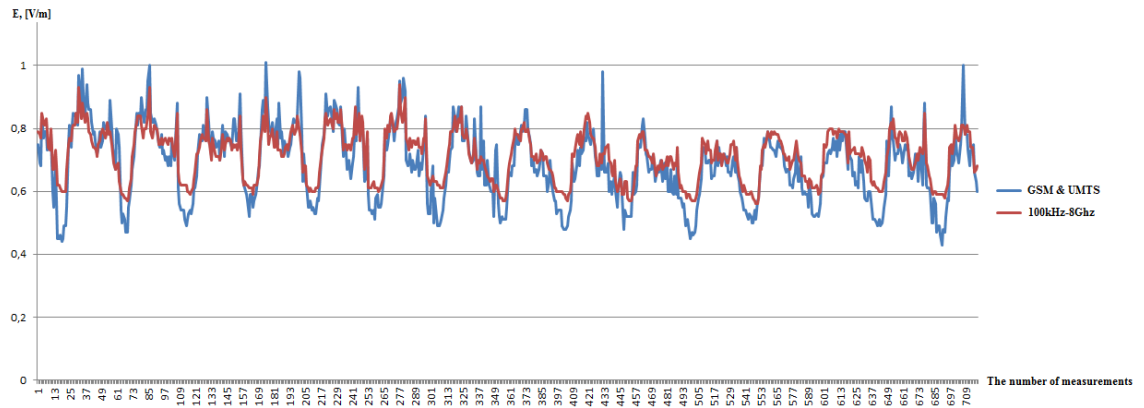
Baz istasyonlarının ve GSM & UMTS frekansında sürekli ölçüm alan istasyonunun konumlandırılmış durumu Şekil 4.57'de net olarak görülmektedir. Bu istasyonla 12.06.2013-08.07.2013 periyodunda seçilmiş bölgedeki baz istasyonlarının yaydıkları elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür.

Ölçülmüş 1241 ortalama elektrik alan şiddeti değerleri (Şekil 4.58) incelendiğinde açıkça görülecektir ki gün içerisinde elektrik alan şiddeti değerlerinde ciddi bir dalgalanma söz konusudur. Bu dalgalanmanın esas nedeni günün farklı saatlerinde baz istasyonlarındaki görüşme trafiğinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.58'den görüldüğü gibi elektrik alan şiddeti değerleri $E_{min}=0.56$ [V/m] sabah saatlerinden (07:30-08:00) itibaren artış göstererek, öğlen saatlerinde en yüksek seviyeye ulaşmaktadır, akşam saatlerinde ise düşüş eğilimi göstermektedir.

Bu periyotta gün içerisinde ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti seviyelerinin ortalama değeri $E_{ort} = 0,69$ [V/m] ve en yüksek değeri $E_{max} = 1,01$ [V/m] olarak 16.06.2013 günü saat 11:00'da ölçülmüştür.



Şekil 4.57. Turgut Özal Tıp Merkezi 1. katında hastanenin kuzey bölgelerindeki baz istasyonlarının görüş açısında yerleştirilmiş olan istasyonun genel görünümü



Şekil 4.58. 12.06.2013-27.06.2013 tarihleri arasında Geniş bant(100kHz-8GHz) ve GSM&UMTS sürekli ölçüm istasyonlarının elektrik alan şiddeti ölçüm sonuçları

Şekil 4.58'de 100kHz-8GHz frekans aralığında ve GSM & UMTS frekanslarında aynı zaman dilimlerinde alınmış ölçümlerle çizilmiş olan grafikler görülmektedir. Bu iki istasyon ile alınan ölçüm sonuçları birlikte incelendiğinde ölçülen elektrik alan şiddetinin genlikleri farklı olmasına rağmen, bu alan şiddeti değerlerinin gün içerisindeki değişiminin birbirine benzerlik sağladığı açıkça görülmektedir. Elektrik alan şiddeti değerlerinin en yüksek ve en düşük noktaları GSM & UMTS frekanslarındaki elektrik alan şiddeti değerlerine denk gelmektedir.

Şekil 4.58 incelendiğinde görülecektir ki bu grafiklerin yükseliş ve düşüş eğilimleri eş zamanlı olup, değişim karakteristikleri ise birbirlerine benzerlik göstermektedir. Dahası, geniş band (100kHz-8GHz) frekanslarında ölçülen sinyal seviyeleri belirli bir aralıkta değişmektedir. Aynı zaman dilimine uygun gelen GSM & UMTS sinyalleri ise bu noktalarda farklı genliklerdeki maksimum veya minimum seviyeleri göstermektedir. Başka bir deyişle bu bölgedeki elektromanyetik kirliliğin içerisinde genel olarak belirli bir etkisi olan Radyo & TV yayıncılığının kullanıcı bazlı değişmemesinden ve sürekli olarak ortamda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni bu sinyalleri yayan aygıt ve sistemlerin çıkış güçleri değişmediğinden veya çok düşük bir seviyede değişim göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bundan farklı olarak GSM & UMTS sinyallerinin seviyesi ise gün içerisinde kullanıcı sayısı ve kullanım süresine bağlı olarak değişim göstermektedir.

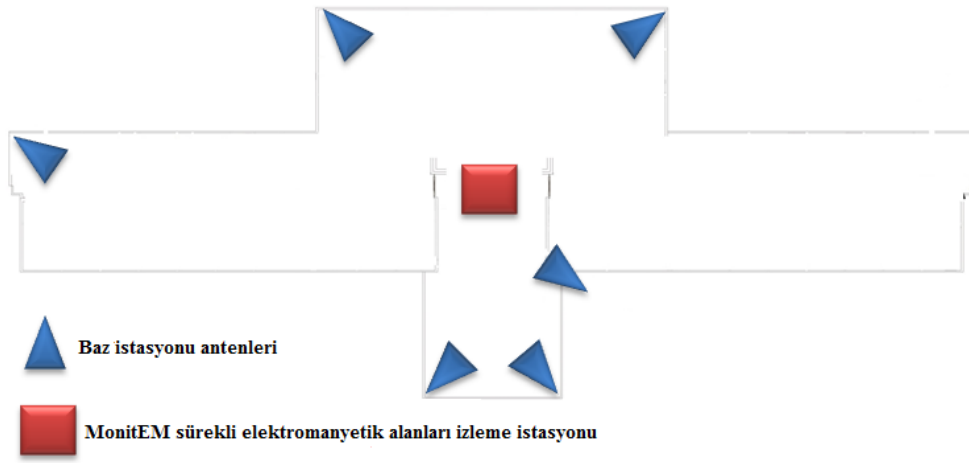
TÖTM 1. kat balkonunda hastanenin batı cephesinde konumlandırılmış ve 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan sürekli elektromanyetik alanları ölçüm istasyonu Şekil 4.59'da gösterilmiştir. Bu bölgede GSM & UMTS sinyallerinin yanı sıra, radyo ve televizyon istasyonlarından yayılan elektromanyetik alanlar da etkindir.



Şekil 4.59. TÖTM 1. katında hastanenin batı cephesinde bulunan radyo ve televizyon vericilerinin görüş açısında yerleştirilmiş olan istasyonun genel görünümü

Bu istasyon ile 12.06.2013 - 27.06.2013 periyodunda ölçülmüş olan 722 ortalama elektrik alan şiddeti değerleri (Şekil 4.58) incelendiğinde bu periyotta alınmış olan elektrik alan şiddetinin ortalama değeri $E_{ort} = 0,7$ [V/m] ve en yüksek değeri ise $E_{max} = 0,94$ [V/m] olarak belirlenmiştir. Bu değer 18.06.2013 günü saat 14:00'da ölçülmüştür.

Tıp merkezinin dış mekanında bulunan yüksek frekanslı elektrik alanların etkisinin belirlenmesinde son olarak, tıp merkezinin çatı katında bulunan ve baz istasyonlarının yakın bölgesine yerleştirilmiş, GSM & UMTS frekansında sürekli ölçüm alan istasyonun genel görünümü Şekil 4.60'da verilmiştir.



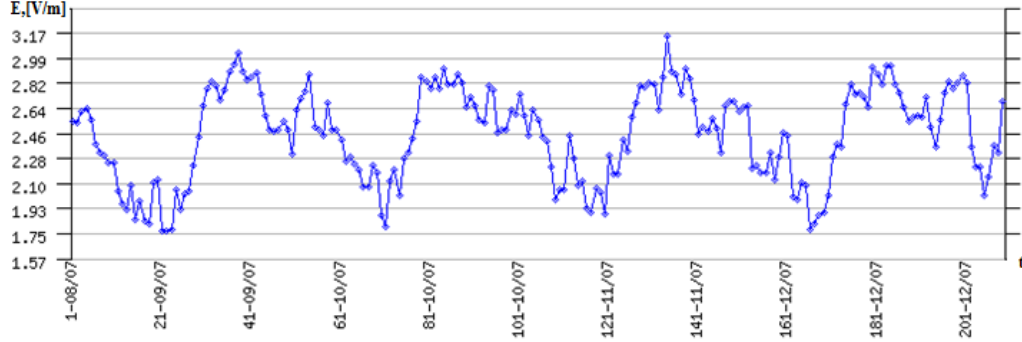
Şekil 4.60. Turgut Özal Tıp Merkezi çatı katında yer alan baz istasyonlarının ve MonitEM sürekli elektromanyetik alanları izleme istasyonunun genel görünümü

Bu istasyon ile 08.07.2013-12.07.2013 periyodunda ölçülmüş olan elektrik alan değerlerinin, yarımsar saatlik periyotlarda ölçülen 209 ortalama değerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş, zamanla değişen elektrik alan şiddeti grafiği Şekil 4.61'de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde baz istasyonunun yakın bölgesinde elektrik alan şiddeti değerlerinin yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir.

Bu periyotta ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti seviyelerinin ortalama değeri $E_{ort} = 2,46$ [V/m] ve ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan değeri $E_{max} = 3,15$ [V/m] olarak 11.07.2013 günü saat 13:30'da ölçülmüştür.

Hastane iç mekânında alınan anlık ölçümlerde de bu frekans grubuna ait en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max} = 1.86$ [V/m] olmakla aynı bölgede, yani 13. katta ölçülmüştür (Şekil 4.37).

Baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik alan dalgaları, istasyon üzerindeki data ve ses trafiğine paralel olarak artış ve/veya azalış eğilimi göstermektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, hastane dışındaki yüksek frekanslı elektrik alan şiddeti değerlerinin esas kaynağı baz istasyonlarıdır.

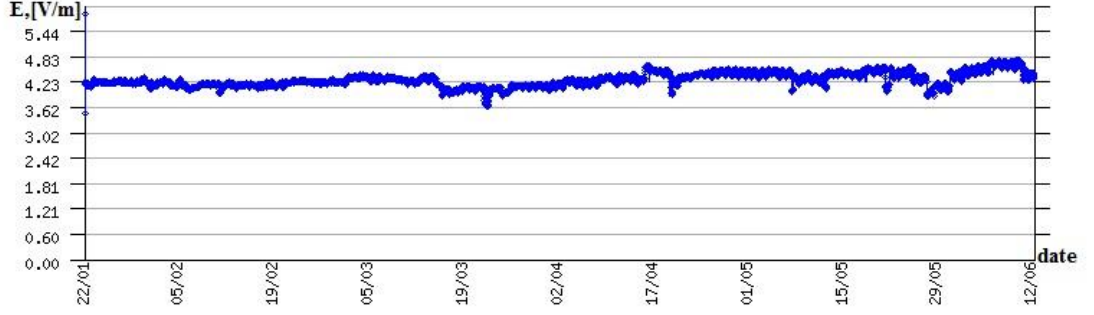


Şekil 4.61. 08.07.2013-13.07.2013 tarihleri arasında hastanenin çatısında GSM&UMTS frekanslarında alınmış zamanla değişen elektrik alan şiddeti değerleri

Bu bölgedeki baz istasyonlarının artması ve kullanıcı trafiğinin yoğunlaşmasıyla bu değerlerin daha yüksek seviyelere ulaşacağı beklenilmektedir. Zira hastanenin artan kapasitesi, yeni enstitülerin hastaneye dâhil edilmesi, bölgedeki üniversite öğrenci sayısının hızla artışı, 25.000 kişilik şehir stadının bu bölgede yapılması ve toplu konut alanlarının bölgedeki artışı elektromanyetik kirliliğin yeni kaynakları olacaktır. Sonuç olarak TÖTM yerleşkesinde yüksek frekans elektrik alan şiddetlerinin ortamda sürekli olarak var olduğunu ve bu değer minimum seviyesinin $E=0,5[V/m]$ olduğu saptanmıştır.

4.7.3. Radyolink istasyonunda yapılmış olan yüksek frekanslı elektromanyetik alanların sürekli ölçümleri ve sonuçları

Radyolink istasyonunda, yüksek frekanslı elektromanyetik alan kaynaklarının, beş aylık bir periyotta, 24 saat süresince, elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. Radyolink istasyonunda ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerlerinin, zamanla değişim grafiği Şekil 4.62'de verilmiştir.



Şekil 4.62. Radyolink istasyonunda beş ay süresince sürekli olarak ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafiği

Beş aylık ölçüm periyodunda (22.01.2013-12.06.2013) ölçülmüş en yüksek elektrik alan şiddeti $E_{max}=4,77[V/m]$, en düşük elektrik alan şiddeti $E_{min}=3,51[V/m]$ ve ortalama elektrik alan şiddeti $E_{ort}=4,278[V/m]$ 'dir. Bu değerler ve bu değerlerin ölçüldüğü gün ve saat, Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Radyolink istasyonunda, beş ay süresince, sürekli olarak ölçülen elektrik alan şiddetinin max, min. ve ortalama değerleri

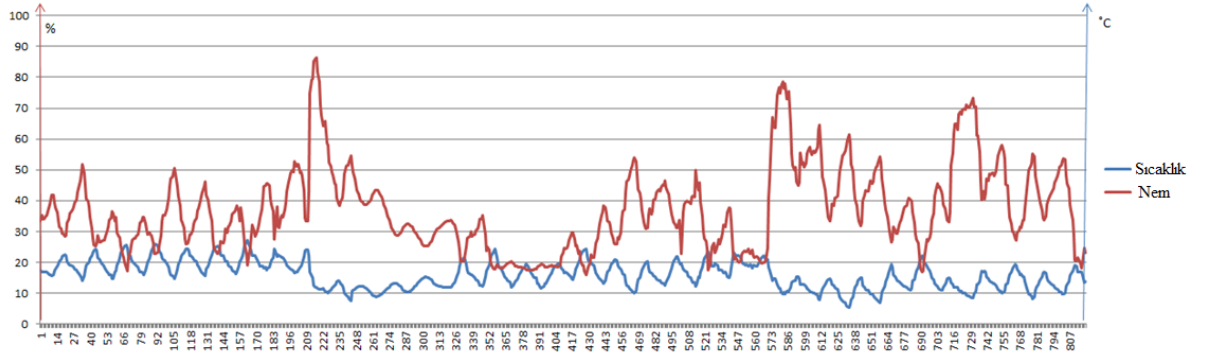
	E, [V/m]	Date / Time
E_{max}	4,77	10.06.2013 / 04:00-05:00
E_{min}	3,51	18.02.2013 / 13:00-14:00
E_{ort}	4,278	22.01.2013-12.06.2013

4.8. Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alanlara Meteorolojik Değişimlerin Etkisinin İncelenmesi

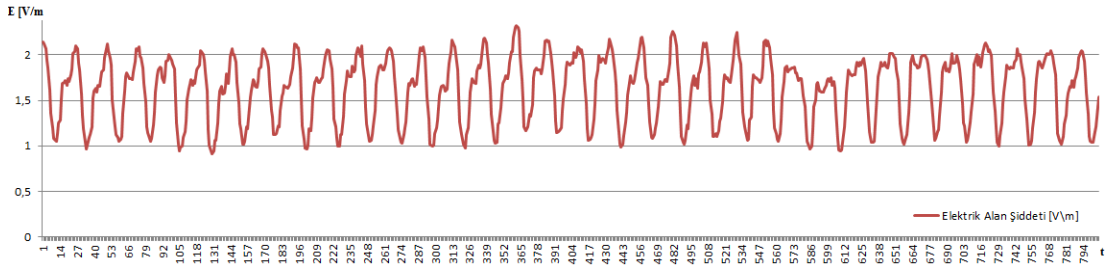
4.8.1. Malatya şehir merkezinde yüksek frekanslı elektromanyetik alanların sürekli ölçüm sonuçlarının meteorolojik koşullara göre değişimi

Çalışma periyoduna uygun olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmış ortamın sıcaklık ve nem değerlerinin değişimi de Şekil 4.63'de verilmiştir. Burada sol dikey eksen saatlik ortalama nem, sağ dikey eksen saatlik ortalama sıcaklık değişimini, yatay eksen ise zamanı ifade etmektedir. Şekil 4.64.'te ise ayı periyoda ait MotitEM tarafından ölçülmüş GSM & UMTS frekanslarında ölçülmüş elektrik alan şiddetinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Sıcaklığın artması veya nemin azalmasıyla ölçülen elektromanyetik alanın değerlerinde de hissedilebilecek artışlar, sıcaklığın azalması ve ortamdaki nemin artmasıyla ölçülen elektromanyetik alanın

değerlerinde hissedilebilecek azalışlar gözlenmektedir. Bu tür değişimlerin elde edilmesi yalnız sürekli ölçüm sistemleriyle belirlenebilir.



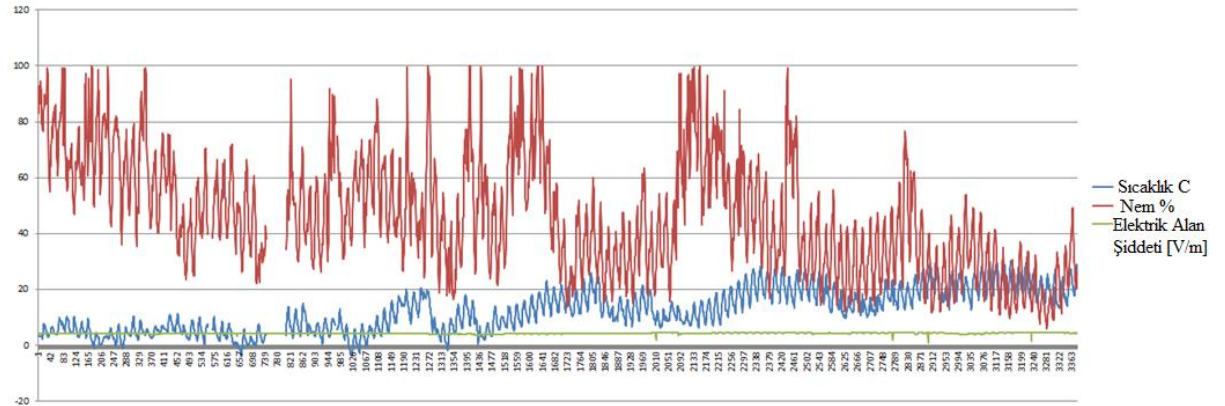
Şekil 4.63. Saatlik ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin zamanla değişim grafiği



Şekil 4.64. GSM & UMTS frekanslarındaki elektrik alan şiddeti değerinin zamanla değişim grafiği

4.8.2. Radyolink istasyonunda yüksek frekanslı elektromanyetik alanların sürekli ölçüm sonuçlarının meteorolojik koşullara göre değişimi

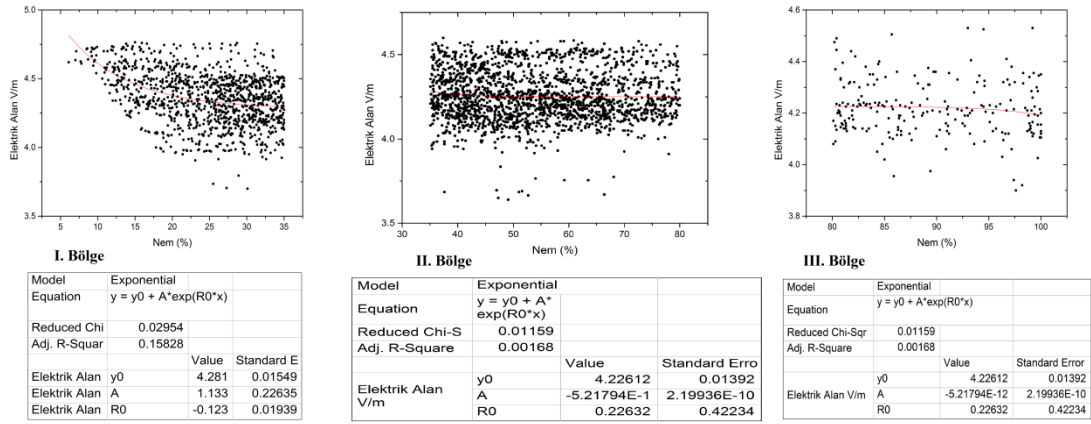
Beş aylık ölçüm periyodunda (22.01.2013-12.06.2013) radyolink bölgesindeki ortamın sıcaklık ve nem değerlerinin saatlik değişimlerini içeren grafikler Şekil 4.65’de verilmiştir. Kırmızı ile çizilmiş olan grafik nem değişimini, mavi ile çizilmiş olan grafik sıcaklık değişimini, yeşil ile çizilmiş olan grafik ölçüm periyodundaki elektrik alan şiddeti değişimini ifade etmektedir.



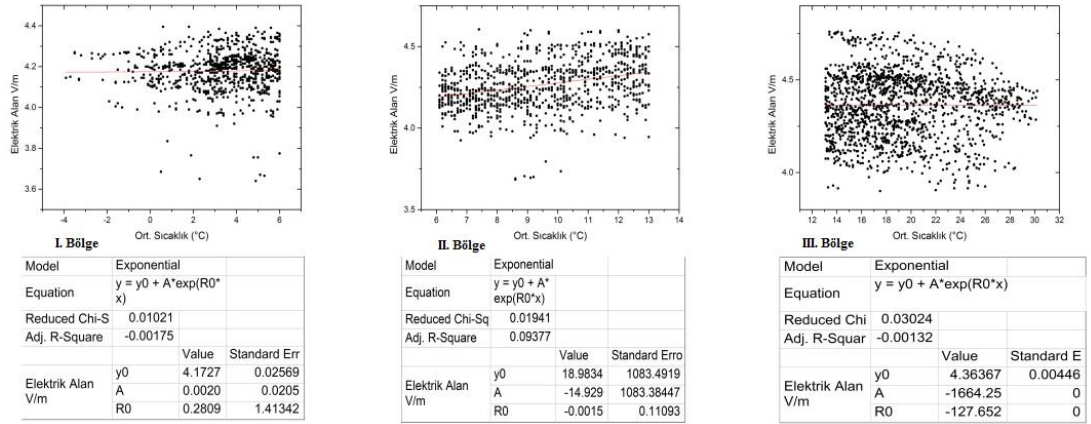
Şekil 4.65. 5 aylık ölçüm periyodunda radyolink bölgesinde ölçülmüş olan elektrik alan şiddeti, ortamın sıcaklık ve nem değişimi grafikleri

Ortamn fiziksel parametrelerinin, elektrik alan şiddetinin dağılımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ile ilgili yapılan çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir [30,31]. Buna göre;

Şekil 4.66 ve Şekil 4.67'den görüleceği gibi sıcaklık ve nem için belirgin üç farklı bölge vardır ve her bir bölgeden de üstel eğriler geçmektedir. Nem-Elektrik alan ilişkisinde, I. ve II. bölgede nemin etkisi üstel bir şekilde azalmaktayken; III. bölgede doğrusal etki gözlenmektedir.



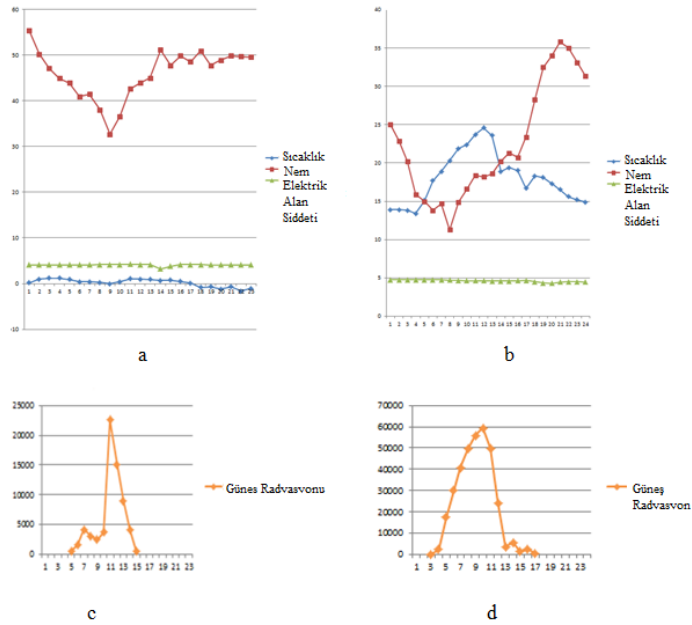
Şekil 4.66. Nem - Elektrik alanın şiddeti grafikleri



Şekil 4.67. Sıcaklık - Elektrik alan şiddeti grafikleri

Ölçülen dalga boyu aralığı, su molekülünün titreşim modlarıyla çakışmadığı için ortamda bulunan nem dalgaya geçirgen davranmaktadır. Sıcaklık-Elektrik Alan ilişkisinde ise nemdeki ile bariz bir şekilde ters orantı söz konusudur. Sıcaklık düştükçe elektrik alan şiddeti değeri düşük; sıcaklık arttıkça alan şiddeti yüksek olarak ölçülmektedir. Her ne kadar çalışmanın yapıldığı bölge, baraj göllerine yakınlığı nedeni ile havadaki nem miktarı değişse de sıcaklık baskın olmakta ve ortamdaki nemi düşürmektedir. Burada yukarıda nem için bahsedilen etkinin tam

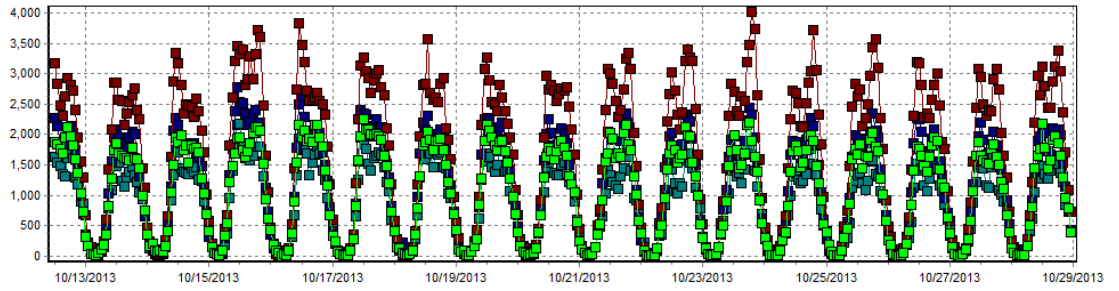
tersi bir etkiden söz etmek mümkündür. I. ve II. bölgede sıcaklığın etkisi üstel olarak artmaktayken; III. bölgede ise sıcaklığın, elektrik alan şiddeti üzerindeki etkisi daha kararlı hale gelmektedir. Karasal iklim nedeniyle sıcaklık havadaki nem miktarını doğrudan etkilediği için Şekil 4.65’de bariz bir şekilde görüldüğü üzere; sıcaklık düşük iken havadaki nem miktarı yüksek ve ortamda ölçülen elektrik alan şiddeti değeri düşük ve sıcaklık yüksek iken havadaki nem miktarı düşük ve ortamda ölçülen elektrik alan şiddeti değeri büyüktür. Şekil 4.68.a’dan görülmektedir ki, çalışmanın yapılmış olduğu periyotta elektrik alan şiddetinin $E_{min}=2.28[V/m]$ olan en düşük değeri 18.02.2013 günü, saat 13:00-14:00’da ölçülmüştür. Bu güne ait meteorolojik veriler incelendiğinde bu saat dilimine ait yükselen nem ve düşüş eğiliminde olan sıcaklık değerleri ile yine düşüş eğiliminde olan güneş radyasyonu değerleri ortamda elektromanyetik alanı etkileyen esas faktörler olarak öne çıkmaktadır. Şekil 4.68.b’de ise belirtilen periyotta elektrik alan şiddetinin $E_{max}=4.77[V/m]$ en yüksek değeri 10.06.2013 günü, saat 04:00-05:00’da ölçülmüştür. Bu güne ait meteorolojik veriler incelendiğinde, bu saat diliminde ortam sıcaklığı ciddi bir yükseliş eğiliminde iken, nem değerinin ise aynı derecede düşüş eğiliminde olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Ortamdaki güneş radyasyonu değerleri göz önüne alındığında belirtilen saat periyodunda güneş radyasyonunun da yükseliş eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 4.68c ve Şekil 4.68d).



Şekil 4.68. Radyolink bölgesinde ölçülen en yüksek ve en düşük elektrik alan seviyelerinin ölçüldüğü günlere ait sıcaklık, nem ve güneş radyasyonunun değişim grafikleri

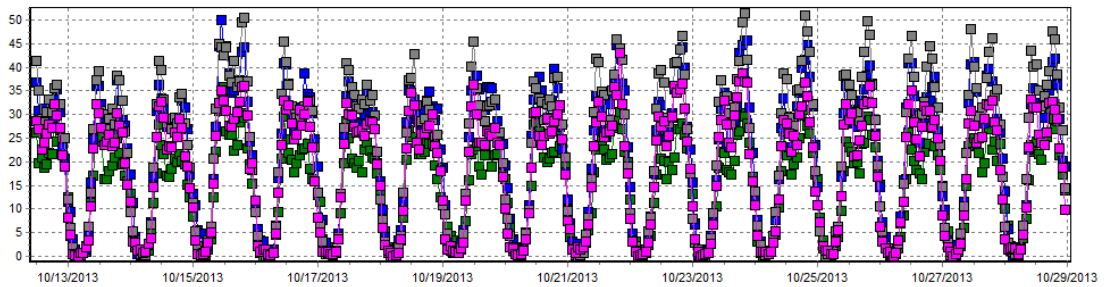
4.9. Baz İstasyonlarının İletişim Trafikinin (Erlang) Yüksek Frekanslı Elektrik Alanlara Etkisi

Baz istasyonlarının yaydığı elektromanyetik alanın matematiksel modelini oluşturmak için elektromanyetik alan kirliliğinin yüksek olduğu (toplu yaşam alanı) ölçüm yapılan bölgede, bir mobil operatöre ait günlük bazda en yoğun iletişim trafiğine sahip olan saha, çalışma için seçilmiştir. Şekil 4.69'da ölçüm yapılan baz istasyonuna, saatlik bazda gelen iletişim talebi sayısının zamanla değişim grafiği yer almaktadır. Burada dikey eksen baz istasyonuna kullanıcılar tarafından gelen iletişim talep sayısı, yatay eksen ise zamandır. Grafik üzerindeki bordo, mavi, açık ve koyu yeşil kareler baz istasyonu üzerindeki her bir sektörel anteni ifade ederken; karelerin grafik üzerindeki konumları, ilgili zaman diliminde baz istasyonunun her bir sektörü üzerindeki talep değerlerini ifade eder. Görüleceği gibi saatlik olarak baz istasyonuna gelen talep sayısı 4000'den fazladır. Çalışmanın yapıldığı ölçüm süresi (5 hafta) boyunca seçilmiş olan baz istasyonuna toplam 4.981.161 iletişim talebi gelmiştir.



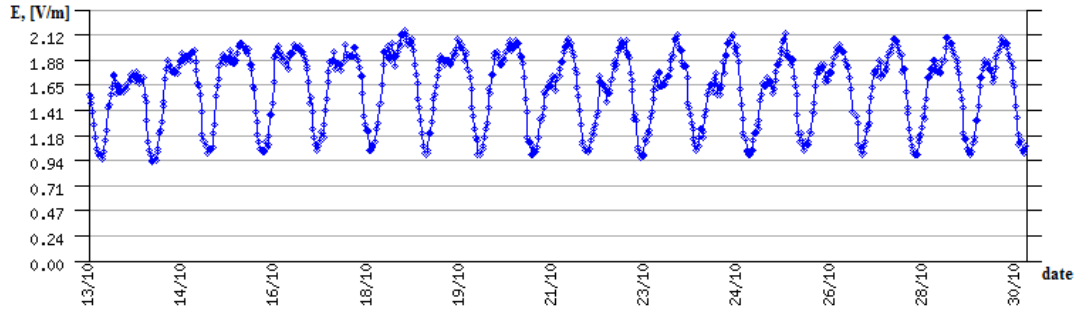
Şekil 4.69. 13-29.10.2013 periyodunda, ölçüm yapılan baz istasyonuna ait saatlik bazda gelen talepler

Yapılan çalışma esasen toplu yaşam alanlarını barındırdığından, görüşme trafiği bu bölgede özellikle akşam mesai saatleri sonrası artış göstermektedir. Baz istasyonuna gelen taleplerin istasyon üzerinde bulunan dört sektörel (yönlü) antendeki görüşme trafiğini gösteren grafik Şekil 4.70'de verilmiştir. Burada dikey eksen iletişim trafiği, yatay eksen ise zamandır.



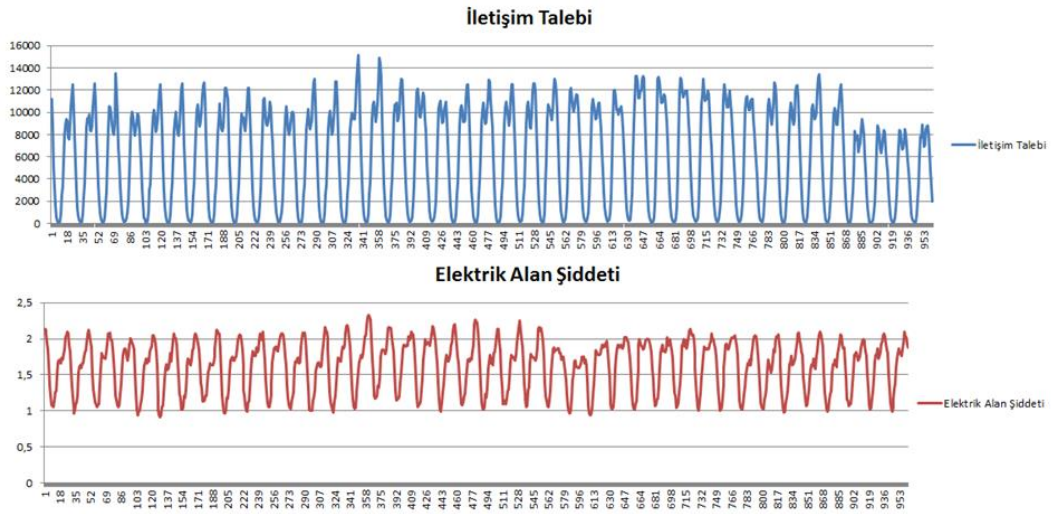
Şekil 4.70. 13-29.10.2013 periyodunda, ölçüm yapılan baz istasyonuna ait saatlik bazda üretilen iletişim trafiğinin zamanla değişim grafiği

Baz istasyonuna gelen taleplerle, baz istasyonunda oluşan iletişim trafiğine ait grafikler incelendiğinde grafikler arasında karakteristik olarak net bir benzerlik olduğu görülecektir. Bu iletişim trafiğinin elektromanyetik kirlilik üzerindeki etkisini değerlendirmek için belirtilen çalışma periyodunda iletişim trafiğine uygun olarak elektrik alan şiddetinin, zamana göre değişim grafiği de Şekil 4.71’de verilmiştir. Burada dikey eksen elektrik alan şiddeti, yatay eksen ise zamandır.



Şekil 4.71. GSM & UMTS frekans aralığında yarımsar saatlik periyotta ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişimi

Ayrıca aynı çalışma periyoduna ait ortamın sıcaklık ve nem değerlerinin değişimi de Şekil 4.63’te verilmiştir. Bu grafiklerin kıyaslanmasından açıkça görülmektedir ki, iletişim trafiğinin yüksek olduğu anlarda ölçülen elektrik alan seviyeleri de en büyük değerlere ulaşır. ($E_{max} = 2,14[V/m]$) Bu nedenle baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların ölçümlerinde ve modellenmesinde iletişim trafiğini muhakkak göz önüne almak gerekir. Bu durum ancak sürekli ölçüm yöntemleriyle gösterilebilir.



Şekil 4.72. Beş haftalık ölçüm periyodunda iletişim trafiğinin ve elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafikleri.

Şekil 4.72’de ölçüm periyodu boyunca baz istasyonuna gelen iletişim taleplerinin ve ölçülen elektrik alan şiddetinin zamanla değişim grafikleri birlikte verilmiştir. Bu grafikler genel olarak birbirlerine karakteristik benzerlik göstermektedir. Bazı noktalardaki farklılıklar ise o anki ortamın fiziksel parametrelerinin değişimi ve ölçüm yapılan frekans bandına ait farklı kaynakların o bölgedeki girişim etkisiyle açıklanabilir.

5. YÜKSEK FREKANSLI ELEKTROMANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİNİN MODELLENMESİ

5.1. Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Alan Değişiminin Yapay Sinir Ağları (ANN - MLSR) Yönetimiyle Modellenmesi

5.1.1 Malatya şehrinde yapılan sürekli ölçümlerin modellenmesi

GSM & UMTS sinyal seviyeleri; baz istasyonlarıyla kurulan çağrı sayısı, çağrı süresi ve elektromanyetik alanın dağıldığı ortam değerlerine bağımlı olarak değişim göstermektedir. Bu nedenle elektrik alan şiddetinin etkin olduğu bölgelerde, elektrik alan şiddeti değerlerinin ortamın fiziksel parametrelerine bağımlı olarak değişimlerini içeren bir modelin oluşturulması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla incelenen ortamlardaki elektromanyetik alan şiddetinin sıcaklık, nem ve haberleşme trafiğinin yoğunluğu ile değişimini göz önüne alan istatistiksel verilere dayanan bir modelleme üzerinde çalışılmıştır.

İstatistiksel verilerle yapılan modellemede ANN (YSA) ve MLSR (ÇDR) yöntemleri uygulanmıştır [114-115]. Adı geçen yöntemlerin matematiksel veri temelini oluşturmak için kullanılan verilerin 24 saat içerisindeki elektrik alan şiddeti, ölçüm yapılan bölgedeki baz istasyonlarına bağlanan abone sayısı, ortamın ölçüm yapılan saatteki ortalama sıcaklık ve nem değerleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Ölçülen tüm değerlerin birlikte incelenmesiyle ortamdaki elektrik alan şiddetinin değişimini belirlemeye imkân veren modelleme sonuçları aşağıda sunulmuştur. ANN Modelin geliştirilmesinde Neural Network Toolbox ve MATLAB 7.0 kullanılmıştır. MATLAB kodları Ek 2’de sunulmuştur. MATLAB komutları yazılmış, derlenmiş veri dosyaları yüklenmiş, yapay sinir ağları verilerle eğitilmiş ve model mimarisi kurulmuştur.

Giriş ve çıkış verileri normalize edilmiş, gerçek uygulamadan önce ve sonra de-normalize edilmiştir. Böylece, model sistemin giriş ve çıkış davranışına göre eğitilmiştir. MLSR analizi yapay sinir ağlarını geliştirmek için kullanılan eğitim setine uygulanmıştır. MLSR modelinin regresyon parametreleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

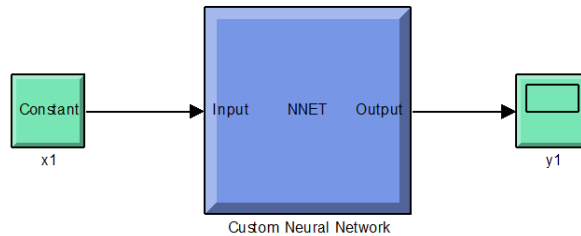
Çizelge 5.1. 24 saat süresince ölçüm değerleri alınan saatlik elektrik alan şiddeti, ölçüm yapılan bölgedeki baz istasyonuna bağlanan abone sayısı, ortamın ortalama sıcaklık ve nem değerleri

Tarih Saat	Alan [V/m]	Bağlanan Abone Sayısı	Sıcaklık °C	Nem %
25.09.2013 00:00	1,695	1260	16,94167	34,833
25.09.2013 01:00	1,48	574	16,80833	35,333
25.09.2013 02:00	1,24	265	16,475	36,5
25.09.2013 03:00	1,185	218	16,05833	38,583
25.09.2013 04:00	1,02	122	15,95	40,25
25.09.2013 05:00	1,02	218	15,56667	41,917
25.09.2013 06:00	1,055	855	16,05833	41,833
25.09.2013 07:00	1,205	2467	17,225	39,167
25.09.2013 08:00	1,185	3556	17,875	37,75
25.09.2013 09:00	1,305	6092	18,65833	36,25
25.09.2013 10:00	1,54	8354	19,33333	33,583
25.09.2013 11:00	1,615	10235	20,23333	31,667
25.09.2013 12:00	1,73	10726	20,925	30,75
25.09.2013 13:00	1,71	9833	21,9	29,417
25.09.2013 14:00	1,66	8742	22,11667	29,25
25.09.2013 15:00	1,64	9165	22,41667	28,5
25.09.2013 16:00	1,71	10053	22,2	28,833
25.09.2013 17:00	1,845	11517	20,375	32,75
25.09.2013 18:00	1,87	12418	19,30833	34,083
25.09.2013 19:00	2,02	12713	18,9	36
25.09.2013 20:00	2,07	11311	19,03333	36,25
25.09.2013 21:00	2,04	7807	18,68333	37,083
25.09.2013 22:00	2	5301	18,39167	37,917
25.09.2013 23:00	1,935	3292	17,95	39,167

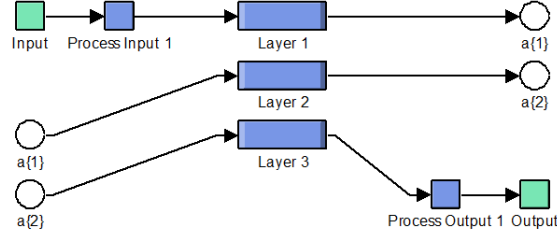
Çizelge 5.2. Regresyon parametreleri (Eşitlik 4.1)

i	0	1	2	3	4	5
β_i	0.0018	0.1072	0.0261	0.0000	0.0025	0.0009

YSA'nın eğitimi tamamlandıktan sonra oluşturulan ağ yapısı MATLAB-Simulink ortamına 'gensim' komutu yardımıyla aktarılmıştır. Simulink ortamında oluşturulan YSA blok diyagramı ve katmanlar aşağıda verilmiştir (Şekil 5.1.a,b).

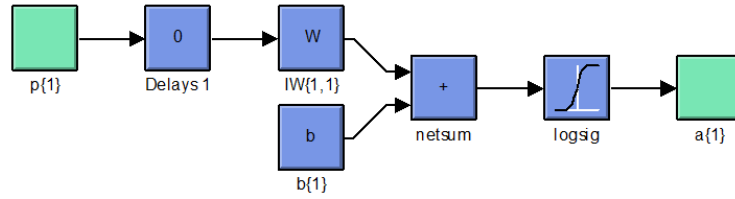


Şekil 5.1.a. YSA Blok Diyagramı



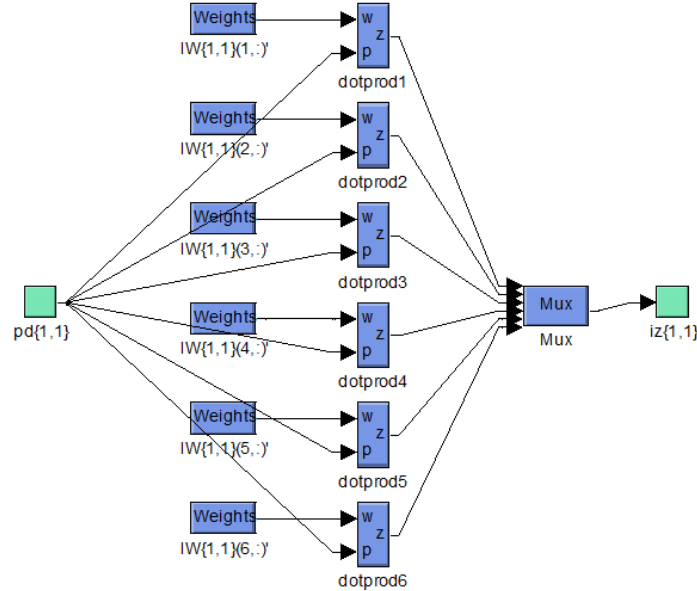
Şekil 5.1.b. YSA Katmanları

Şekil 5.2’de geliştirilen YSA modelin girdi katmanına ait blok diyagramını göstermektedir. Ağırlıkların oluşturulduğu IW blokunun iç yapısı Şekil 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5.2. YSA modeli girdi katmanı

Burada $IW\{1,1\}$ ve $b\{1\}$ sırasıyla girdi katmanına ait ağırlıkları ve bias değerlerini göstermektedir. $p\{1\}$ ve $a\{1\}$ sırasıyla girdi katmanın girdi ve çıktısını belirtmektedir. Netsum; toplama fonksiyonu, logsig; logaritmik-sigmoid transfer fonksiyonunu göstermektedir.



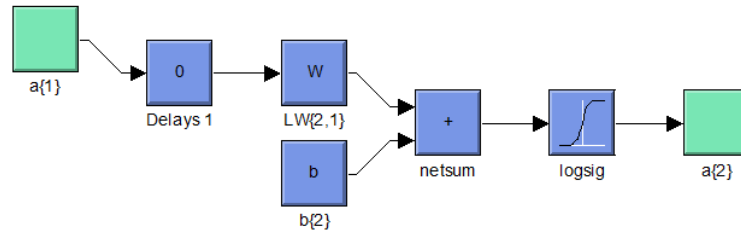
Şekil 5.3. YSA modeli girdi katmanı ağırlıkları gösteren blok diyagramı

Girdi katmanı için bulunan ağırlık ve bias değerleri tablosu Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Girdi katmanı için ağırlıklar ve bias değerleri

IW{1,1}					b{1}
-1.2679	-0.0268	0.5672	-3.4308	-1.0375	1.3623
1.1209	1.0617	1.6184	0.6820	-3.5475	-3.1826
-0.3737	-0.0363	0.4321	-1.0113	3.3099	-0.6902
-1.6084	-1.0870	-2.3526	0.1528	3.0206	0.0873
1.3611	-1.3988	2.1163	-0.6851	-2.0867	0.3327
-1.9304	-7.1142	-3.5411	0.1856	-0.4503	6.9384

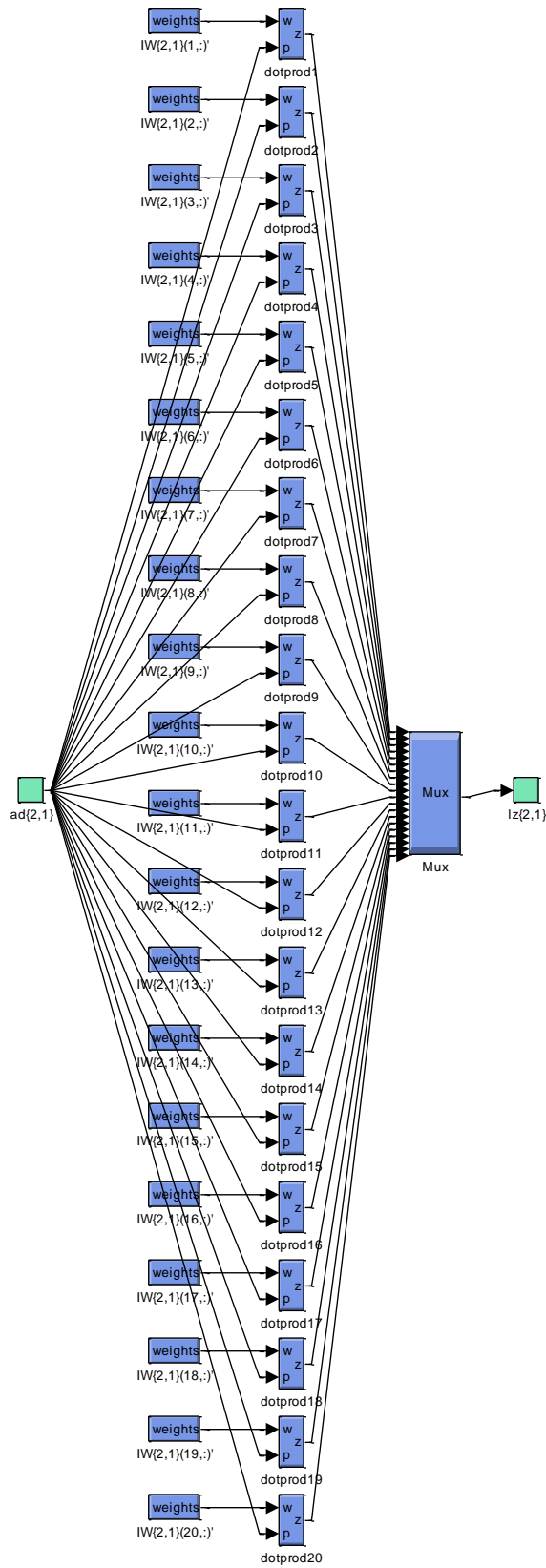
Şekil 5.4.'de gizli katman için oluşturulan blok diyagramı ve Şekil 5.5'de ağırlıkların oluşturulduğu LW blokunun iç yapısı gösterilmiştir. Burada LW{2,1} ve b{2} sırasıyla ara katman için ağırlıkları ve biası temsil etmektedir. a{1} ve a{2} sırasıyla ara katmanın girdi ve çıktısını belirtmektedir. Netsum; toplama fonksiyonu olup, logsig; logaritmik-sigmoid fonksiyonu göstermektedir.



Şekil 5.4. Ara katman blok diyagramı

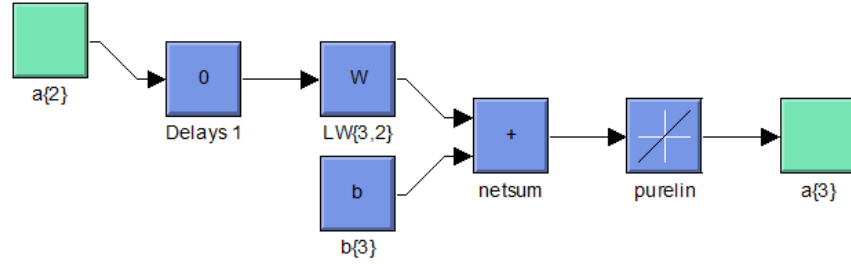
Çizelge 5.4. Gizli katman için ağırlıklar ve bias değerleri

LW{2,1}						b{1}
0.4647	-0.8267	2.5717	4.5983	1.6451	-5.9582	-1.1287
2.1452	-0.2980	2.4124	5.0442	-4.9111	-1.6018	3.9897
-2.5542	-0.3590	3.0309	0.0094	0.7959	-3.8002	0.4187
-1.5197	-3.9148	-2.2556	0.9844	-1.4976	5.9699	-0.4577
-3.2194	0.6683	-2.1433	6.3619	6.7370	-0.1723	-1.7266
-3.1522	2.0278	0.1544	-4.4842	1.8567	1.3433	5.4277
-2.1738	-0.0362	-5.3730	5.3313	-0.5979	-2.7043	3.5503
-5.7008	0.2082	-1.9015	3.4239	1.8708	0.0817	3.0562
-1.4900	3.0780	-2.2099	-3.7216	2.3110	-2.9467	-2.2300
-0.6923	0.5162	2.3721	0.8372	5.4938	1.6979	-4.8866
-7.0096	0.1371	-0.0377	2.6863	-1.1306	2.0578	0.3873
-1.1941	1.7700	0.9919	3.5845	-1.6520	-0.6336	0.3716
1.5557	3.4118	-0.9800	0.3964	-2.8549	1.0751	0.1721
-0.7313	2.3327	0.1505	0.7308	-3.4787	-5.5713	3.4074
-1.9250	-0.1325	-0.1293	2.2651	-4.3572	4.7751	-0.1312
0.2908	0.3367	-0.1154	0.1719	-0.8924	-0.9375	0.0814
-0.3260	-1.0604	-3.5598	4.7626	0.9877	2.7646	-3.7454
-0.4493	4.9454	4.5662	-0.1170	-0.3862	-1.7713	-3.7202
2.0643	3.1615	0.2956	-1.6956	1.3737	2.5816	-1.4103
4.3991	-1.7267	-0.0893	-4.2485	-0.9807	0.9376	1.1287

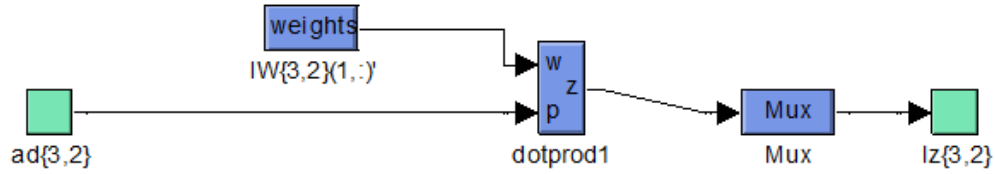


Şekil 5.5. YSA modeli ara katmanın ağırlıklarını gösteren blok diyagramı

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de sırasıyla çıktı katmanı için blok diyagramı ve ağırlıkları gösteren W bloğunun iç yapısı verilmiştir. Burada $a\{2\}$; çıktı katmanının girdisi, $LW\{3,2\}$; çıktı katmanının ağırlıkları, $b\{3\}$; çıktı katmanının bias değerlerini, purelin; çıktı katmanında yer alan lineer transfer fonksiyonunu belirtmektedir. Netsum; toplama fonksiyonu olup, $a\{3\}$; çıktı katmanının ve dolayısıyla ağın çıktısıdır.



Şekil 5.6. Çıktı (son) katman blok diyagramı



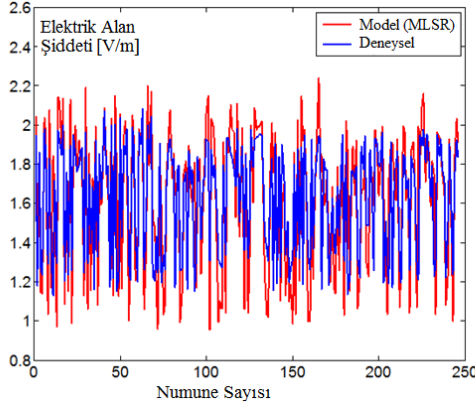
Şekil 5.7. YSA modeli çıktı katmanının ağırlıklarını gösteren blok diyagramı

Son katman için ağırlıklar ve bias değerleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

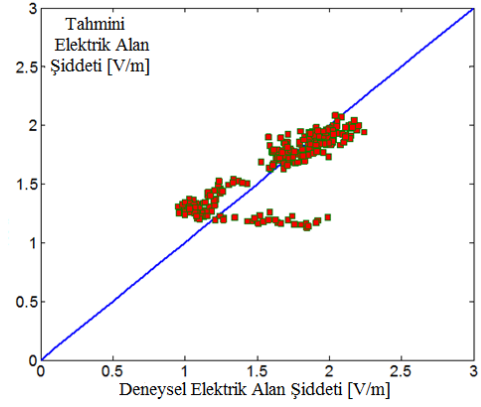
Çizelge 5.5. Çıktı katman için ağırlıklar ve bias değerleri

$LW\{3,2\}$	$b\{3\}$
-3.7227	-0.9614
4.2684	
2.5484	
-4.7907	
-5.7724	
-5.4771	
-4.1476	
5.1411	
7.1255	
6.0397	
3.7647	
-3.5680	
3.9575	
5.5226	
4.1302	
-1.6144	
5.5414	
-4.9135	
-3.9641	
4.1162	

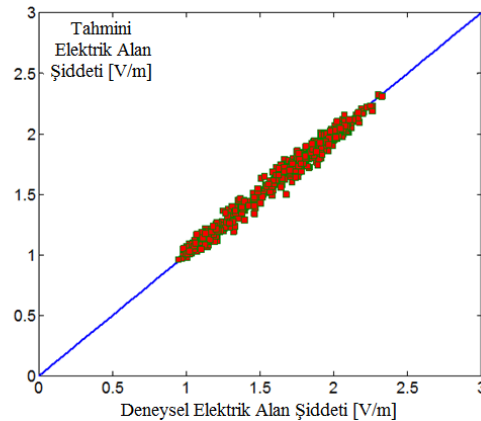
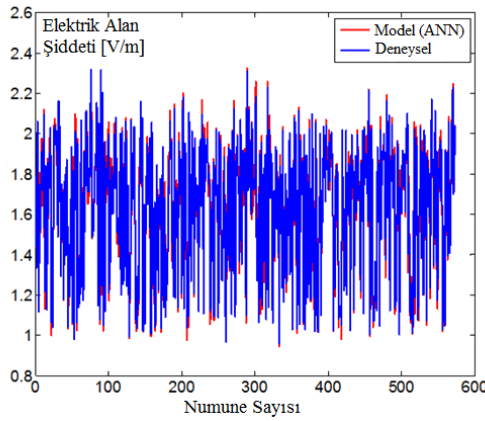
Test veri seti MLSR denklemlerinin performansı için kullanılmıştır ve MLSR modelinin sonuçları Şekil 5.8’de verilmiştir. ANN modelin sonuçları ise Şekil 5.9’da, test verileri için yapay sinir ağlarının davranış sonuçları Şekil 5.10’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapay sinir ağları modelinin gözlemlerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.



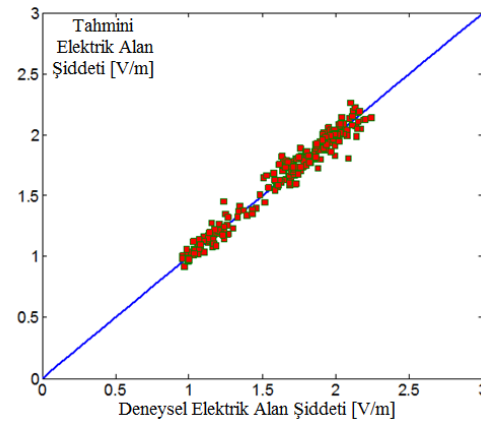
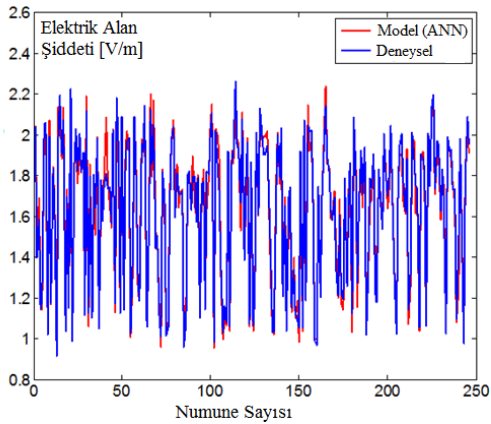
Şekil 5.8. MLSR test sonuçları



Öngörülen elektrik alan şiddetine karşılık ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri [V/m]



Şekil 5.9. ANN Eğitim Sonuçları



Şekil 5.10. ANN Test Sonuçları

Model başarısını test etmek için istatistiksel olarak 4 parametrenin değerleri hesaplanmıştır. Bunlar, Korelasyon Katsayısı (R), Mutlak Yüzde Ortalama Hata (MAPE, %), Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) ve Maximum Hata (MaxErr). Bu hesaplamalar aşağıda verilen eşitlikler (Eşitlik 5.1) yardımıyla yapılmıştır.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} ; \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}} ; \quad (5.1)$$

$$MAPE (\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{y_i - x_i}{x_i} \right| \right) \cdot 100$$

Burada; x_i , i^{th} zamanında gözlenen değerler, y_i aynı zamanda simule edilen değerler, N gözlem sayısı, \bar{x} gözlemlerin ortalama değeri, \bar{y} simülasyonun ortalama değeri.

Korelasyon katsayısının en yüksek, MAPE'nin en küçük ve RMSE ortalaması değerlerin en küçük olduğu, model performans değerlendirmesi için kullanılmıştır. Ağın eğitim ve testi için hesaplanmış korelasyon katsayıları sırasıyla 0.9913 ve 0.9849'dir. MAPE değerleri eğitim tarzı için sırasıyla 2.2230 % ve 3.0353 % olarak bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre ANN modeli, MLSR modeline göre ortamdaki elektrik alan şiddetinin saptanmasında daha doğru sonuçlar vermektedir.

Çizelge 5.6. ANN ve MLSR eğitim ve doğrulama periyotlarında elde edilen performans indeksleri

Eğitim Verisi				Test Verisi		
Model	R	MAPE (%)	RMSE	R	MAPE (%)	RMSE
ANN	0.9913	2.2230	0.0451	0.9849	3.0353	0.0636
MLSR	0.8164	10.3943	0.1986	0.7965	11.5768	0.2204

Önerilen ANN (YSA) modeli ay, gün, zaman, ortalama sıcaklık, ortalama nem ve baz istasyonuna bağlanan abone sayısı verildiğinde ortamdaki elektrik alan şiddeti değerini düşük bir hata payıyla tahmin edilmektedir. MLSR için en yüksek hata 0.7789 ve ANN modeli için 0.2787 sonucuna ulaşılmıştır. ANN'nin tahmin yeteneği, MLSR'ye göre, karmaşık ve doğrusal olmayan bir sistem olan elektrik alan

değerlerini tahmininde daha az hata ile elde edilmesine imkân sağlar. Sonuç olarak bu değerlendirmelere göre yapay sisnr ağı modelinin ortamdaki elektrik alan şiddetinin tahmini için faydalı olduğu kanaatine varılmıştır ve pratik hesaplamalarda kullanılması önerilmektedir.

5.1.2 Radyolink istasyonunda yapılan sürekli ölçümlerin modellenmesi

Çok yüksek frekanslı elektromanyetik alanların, ortamın sıcaklık ve nem değişimine gösterdiği hassasiyeti değerlendirmek amacıyla 24 saat süresince, beş aylık periyotta ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri saatlik bazda derlenmiştir. Bu değerler aynı saat periyodundaki ortamın sıcaklık ve nem değerleri ile derlenerek esas değişim parametrelerini içeren uygun bir model oluşturulmuştur.

Çizelge 5.7. Ölçüm yapılan bölgedeki 24 saatlik sıcaklık, nem, elektrik alan şiddeti ve değerleri

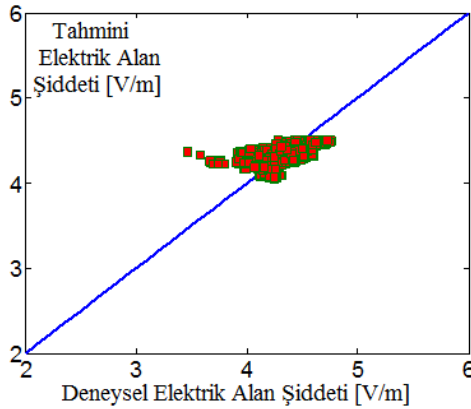
Yıl	Ay	Gün	Saat	Sıcaklık [°C]	Nem [%]	Elektrik Alan Şiddeti [V/m]
2013	6	1	0	19.5	27.1	4,45
2013	6	1	1	20.0	28.6	4,455
2013	6	1	2	17.8	30.4	4,45
2013	6	1	3	18.6	33.2	4,46
2013	6	1	4	21.8	35.6	4,47
2013	6	1	5	24.5	39.0	4,475
2013	6	1	6	25.3	41.3	4,43
2013	6	1	7	26.7	41.0	4,39
2013	6	1	8	27.4	40.5	4,37
2013	6	1	9	28.3	41.2	4,345
2013	6	1	10	28.6	39.7	4,325
2013	6	1	11	29.2	34.7	4,3
2013	6	1	12	28.8	28.6	4,28
2013	6	1	13	29.5	25.8	4,26
2013	6	1	14	29.3	24.6	4,33
2013	6	1	15	28.7	23.6	4,35
2013	6	1	16	27.4	21.3	4,325
2013	6	1	17	25.4	18.6	4,405
2013	6	1	18	23.7	14.9	4,455
2013	6	1	19	21.2	13.3	4,495
2013	6	1	20	19.8	13.2	4,51
2013	6	1	21	19.2	12.6	4,525
2013	6	1	22	18.2	10.9	4,545
2013	6	1	23	18.1	11.1	4,565

Modelde kullanılan ve bu periyotta radyolink bölgesinde ölçülmüş elektrik alan şiddeti değerlerinin zamanla değişim grafiği Şekil 4.62’de verilmiştir. Elektrik alan şiddetinin bu değişimine karşılık gelen 24 saatlik sıcaklık ve nem değerleri ise Çizelge 5.7’de verilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda istatistiksel modelleme çalışmalarının sonuçları aşağıda özetlenmiştir; MLSR regresyon için hesaplanan regresyon katsayılarının da yer aldığı model Eşitlik 5.2’de verilmiştir. Deneysel-model uyumunu özetleyen sonuç grafikleri Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Model başarısını test etmek için kullanılan istatistiksel parametrelerin değerleri de Çizelge 5.8’de sıralanmıştır.

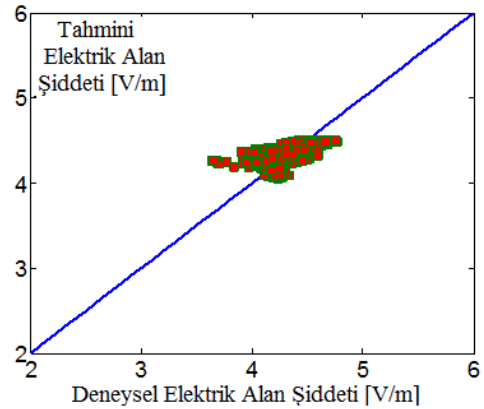
$$y_{MLSR} = 3.99438 + 0.09280 \cdot X_1 - 0.00082 \cdot X_2 - 0.00054 \cdot X_3 - 0.00349 \cdot X_4 + 0.00057 \cdot X_5 - 3.36 \times 10^{-7} \cdot X_6 \quad (5.2)$$

Çizelge 5.8. ANN ve MLSR eğitim ve doğrulama periyotlarında elde edilen performans indeksleri

Eğitim Verisi					Test Verisi			
Model	R	MAPE (%)	RMSE	Max Err	R	MAPE (%)	RMSE	Max Err
ANN	0.984	0.502	0.030	0.196	0.964	0.656	0.046	0.598
MLSR	0.623	2.403	0.133	0.909	0.624	2.378	0.132	0.621

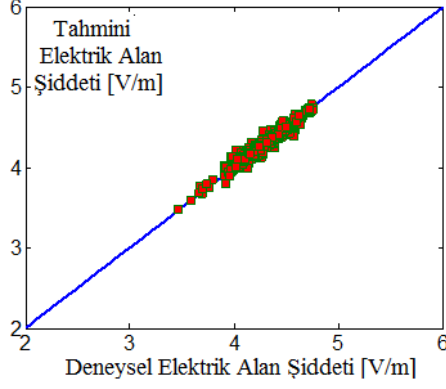


Şekil 5.11. MLSR regresyon sonuçları (Eğitim verileri)

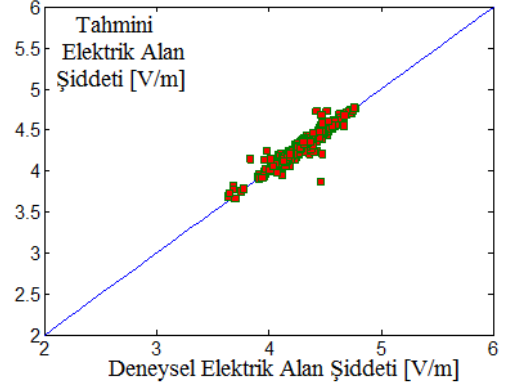


Şekil 5.12. MLSR regresyon sonuçları (Test verileri)

Geliştirilen YSA modeline ait grafiksel sonuçlar eğitim ve test verileri için sırasıyla Şekil 5.13, Şekil 5.14’de verilmiştir.



Şekil 5.13 YSA (ANN) regresyon sonuçları (Eğitim sonuçları)



Şekil 5.14. YSA (ANN) regresyon sonuçları (Test sonuçları)

Her iki model için çizilen grafikler incelendiğinde elektrik alan şiddetini öngörmeye ANN (YSA) modelinin, MLSR (ÇDR) modeline göre belirgin bir üstünlük sağladığı açıkça görülmektedir. MAPE%, MaxErr ve RMSE değerlerinin en küçük olduğu ve R değerinin en yüksek olduğu durumu sağlayan modelin ANN (YSA) modeli olduğu ve dolayısıyla model başarısının yüksek olduğu, istatistiksel değerlerin ANN (YSA) modeli ile sağlandığı Çizelge 5.8'den görülebilir.

Böylece farklı ortamlarda ve çok sayıda etkin parametrelerin (sıcaklık, nem, iletişim trafiği, güneş radyasyonu) yüksek frekanslı elektromanyetik alanın seviyesine etkisini değerlendirmek için istatistiksel yöntemlerden özellikle ANN (YSA) yönteminden yararlanmakta fayda olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat bu modellerin daha doğru sonuçlar verebilmesi için elektromanyetik alan dağılımının anlık ölçümleri yetersizdir ve sürekli ölçüm sistemlerinin (örneğin MonitEM) kullanılması gerekmektedir.

5.2 Baz İstasyonlarının Yayıdıkları Elektromanyetik Alanın İndirgenmiş Karakteristik Empedans Yöntemiyle İncelenmesi

5.2.1. İndirgenmiş karakteristik empedans yöntemi

Yakın bölge ve geçiş bölgelerinde \vec{E} ve \vec{H} alanları düzlemsel dalga karakterinde olmadıkları için bu parametrelerin orantısı da boşluğun karakteristik empedansına eşit değildir,

$$Z = \frac{E}{H} \neq Z_0 = 377\Omega \quad (5.3)$$

Genelde bu karakteristik empedans dalganın yayıldığı ortamın elektriksel ve manyetik parametrelerine (ϵ , μ , σ) ve frekans (f)'a bağımlı olur. Karakteristik empedansa etkiyen en önemli diğer parametreler ise ortamda bulunan çevresel ve

atmosferik (toz, duman, sis, aerosoller, yağmur ve buzlanma) etmenler ve iklim koşullarıdır (sıcaklık, nem). Elektromanyetik dalga teorisinde bu etkenler farklı teorik yaklaşımlarla [116,117] ve sürekli ölçüm yöntemleriyle [25,27,29,59,60] göz önüne alınabilir. Fakat önerilen teorik yaklaşımlar çok sayıda ampirik katsayılar içermektedir [116] ve ortamda dalganın yayılmasının gerçek değişimlerini etkin olarak değerlendirmek için yeterli değildir. Bu durumda dalganın yayılmasını; çok sayıda, rastgele parametrelere göre değil, ortamın gerçek empedansının değişimine göre değerlendirmek mümkündür. Çalışmada, bu yöntem İndirgenmiş Karakteristik Empedans Yöntemi (IKEY) olarak tanımlanır ve yöntemde ortamın etkin veya gerçek empedansının (Z), boşluğun karakteristik empedansına ($Z_0 = 120\pi = 377\Omega$) oranıtısı değerlendirilir. Bağlı indirgenme katsayısı ξ aşağıdaki gibi belirlenir;

$$\xi = \frac{Z}{Z_0} = \frac{E}{Z_0 H} \quad (5.4)$$

Benzer yaklaşımlar birçok araştırmalarda yapılmıştır ve bazı sonuçlar da literatürde sunulmuştur [86,118,119]. Fakat bu çalışmalar farklı özgün problemler için yapıldığından, elde edilmiş sonuçlar özel durumlar için geçerlidirler. Tez çalışmasında bu yöntem geliştirilerek yeni modellemeler oluşturulmuş, sürekli ölçümlerden elde edilen ve literatürde sunulan deneysel sonuçlarla kıyaslanarak pekiştirilmiştir. Önce dipol antenlerin karakteristik empedansının literatürde [118] sunulmuş olan bazı özelliklerini değerlendirmekte yarar vardır.

5.2.2 Elektriksel (Hertz) dipol antenin indirgenmiş karakteristik empedansı

Elektriksel (Hertz) dipolunda \vec{E} ve \vec{H} alanlarının değişimleri 2.24 ve 2.25 eşitliklerinde verilmiştir. Yakın alan ve uzak alan yaklaşımları kullanmadan, bu teorik ifadelerle βr parametresine göre değişimin genel ifadelerini aşağıdaki şekilde basitleştirebiliriz. Bu amaçla sözü geçen ifadelerin reel ve sanal kısımlarını ve mutlak değerini kullanabiliriz.

Elektromanyetik dalga kaynağından veya antenden radyal yönde uzaklaştıkça ortamın dalga empedansı (Z), boşluğun dalga empedansına (Z_0) göre değişim göstermektedir. Bu değişim $Z > Z_0$ ve $Z < Z_0$ biçiminde olabilir. Bu nedenle dalganın yayıldığı kapsama alanındaki özelliklerini dalga empedansının değişimi ile inceleyebiliriz. Kapsama alanının gerçek empedansının (Z), boşluğun empedansına

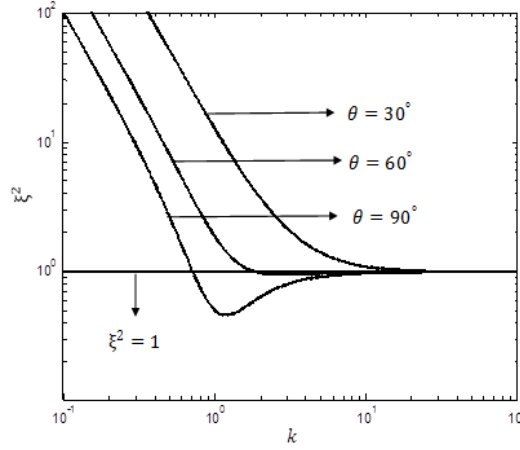
(Z_0) orantısı bağıl indirgenmiş empedans katsayısı olarak tanımlandığını ve 5.4 eşitliği ile belirlendiğini varsayalım.

2.24 ve 2.25 eşitliklerinden E ve H ifadeleri dikkate alındığında empedans katsayısı şu şekilde yazılabilir,

$$\xi = \frac{1}{Z_0} \frac{E}{H} = \frac{1}{k} \left[4 \cot^2 \theta + \frac{k^6 + 1}{(1 + k^2)^2} \right]^{1/2} \quad (5.5)$$

Burada $k = \beta r$ - boyutsuz uzaklık katsayısıdır.

5.3 eşitliği dikkate alındığında farklı θ değerlerine uygun olarak $\xi(k)$ bağıntısı çizilebilir. Bu ilişki Şekil 5.15'de gösterilmiştir. 5.5 eşitliğine göre bağıl karakteristik empedansın kararlaşmış değeri ($Z = Z_0, \xi=1$) aşağıdaki denklemle elde edilir.



Şekil 5.15. Bağıl empedans katsayısının uzaklığa göre değişimi

$$\frac{1}{k} \left[4 \cot^2 \theta + \frac{k^6 + 1}{(1 + k^2)^2} \right]^{1/2} = 1 \quad (5.6)$$

Buradan;

$$2(2 \cot^2 \theta - 1)k^2 + 4 \cot^2 \theta + 1 = 0 \quad (5.7)$$

olur.

Bu eğrinin karakteristik noktaları $\theta \rightarrow 90^\circ$ ve $k \rightarrow \infty$ olmalıdır.

Eğer $\theta \rightarrow 90^\circ$ ise, ($\cot \theta \rightarrow 0$); $k = 0.707$ olmaktadır.

Eğer $k \rightarrow \infty$ ise, (kararlı uzak bölge); $\theta = 54.7^\circ$ veya $\theta = 125.3^\circ$ olur.

5.6 eşitliğinden kolaylık için karakteristik empedansın karesinin (ξ^2) minimal değerleri incelenebilir. Bu değer $\theta = 90^\circ$ olduğunda $\frac{d\xi^2}{dk} = 0$ olarak belirlenir.

Basit işlemlerden sonra $k = 1.17$ olur. Bu değere uygun olan ξ^2 'nin minimum değeri ise $\xi^2 = 0.464$ olur.

Öte yandan 5.5 eşitliğinden de görüldüğü gibi $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 180^\circ$ durumlarında $k \rightarrow \infty$ değerlerinde, $\xi = 1$ olmaktadır. Bu koşul uzak alan bölgesini ihtiva etmektedir. Elektromanyetik alanın en yoğun yayıldığı $\theta = 90^\circ$ bölgesinde ise k 'nın artmasıyla ξ karakteristik empedansın değişim karakterleri de değişir ve aşağıdaki gibi olur,

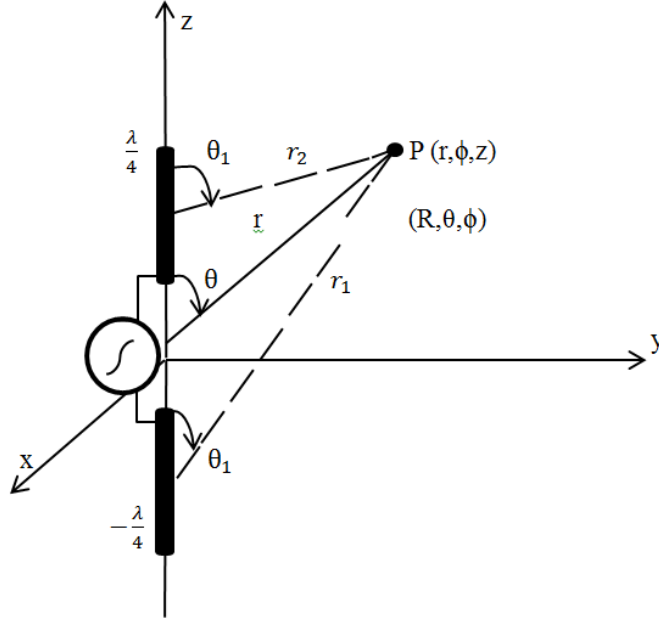
$$\xi^2 = \begin{cases} < 1 \text{ eğer } k \leq 0.707 \\ = 0.464 \text{ eğer } k = 1.17 \\ > 1 \text{ eğer } k > 1.17 \\ = 1 \text{ eğer } k \rightarrow \infty \end{cases} \quad (5.8)$$

5.2.3 Yarı dalg dipol antenin indirgenmiş karakteristik empedansı

Yarı dalg dipol anten, elektriksel dipol antenlerin özel bir durumudur. Hem pratik uygulama, hem de teorik açıdan büyük önem arz etmektedir. Çift kutuplu antenlerin uzunluğu çalışma frekansında bir yarı dalg boyuna eşittir, $\ell = \lambda/2$. Yarı dalg dipol antenin prensip şeması Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

Örneğin, $f=900\text{MHz}$ frekansı için dalg boyu $\lambda = 0.33$ metredir. Bu nedenle yarı dalg boyu dipol anten uzunluğu 0.165m olur. Pratikte yarı dipol antenin uzunluğu hafif azaltılarak anten rezonans konumuna getirilebilir. Bu durumda antenin giriş empedansı rezistif karakter gösterir ve antenin yönü değişmez. Eğer yarı dipol anten, eşit uzunluk ve yoğunluktaki iki dipolden oluşturuluyor ve bu antenin orta kutuplarından simetrik kaynağa bağlanmış olursa, bu anten simetrik anten adını alır.

Şekil 5.16'dan görüldüğü gibi, yarı dalg dipol antenin yaydığı elektromanyetik alan hem silindirik, hem de küresel koordinatlarda ifade edilebilir. Ortamın dalg empedansının silindirik koordinatlarda incelenmesi literatürde [118] gösterilmiştir. Yukarıda genel olarak dipol antenlerin dalg empedansı küresel koordinatlarda incelenmiştir. Buna göre yarı dalg dipol antenin de yaydığı \vec{E} ve \vec{H} alanlarının silindirik koordinatlarındaki ifadelerini ele alalım.



Şekil 5.16. Yarı dalg dipol antenin prensip şeması

Yarı dalg dipolden geçen akımın z ekseninde $i = I \cos(\beta z)$ olduğu varsayıldığında, dipol antenin etrafındaki her hangi bir P noktasındaki \vec{E} ve \vec{H} alan bileşenleri silindirik koordinatlarda (r, ϕ, z) aşağıdaki gibi yazılır [120],

$$\begin{aligned}
 E_r &= j \frac{Z_0 I}{4\pi r} (e^{-j\beta r_1} \cos\theta_1 + e^{-j\beta r_2} \cos\theta_2) \\
 E_z &= -j \frac{Z_0 I}{4\pi} \left(\frac{e^{-j\beta r_1}}{r_1} + \frac{e^{-j\beta r_2}}{r_2} \right) \\
 H_\phi &= \frac{jI}{4\pi r} (e^{-j\beta r_1} + e^{-j\beta r_2})
 \end{aligned} \tag{5.9}$$

Bu ifadelerle göre \vec{E} ve \vec{H} alanların genlikleri aşağıdaki gibi olur,

$$\begin{aligned}
 E^2 &= |E_r|^2 + |E_z|^2 \\
 &= \left(\frac{Z_0 I}{4\pi r} \right)^2 [\cos^2\theta_1 + \cos^2\theta_2 + 2\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \cos\beta(r_1 - r_2)] + \\
 &\quad \left(\frac{Z_0 I}{4\pi} \right)^2 \left\{ \frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{2}{r_1 r_2} \cos\beta(r_1 - r_2) \right\}
 \end{aligned} \tag{5.10}$$

$$H^2 = |H_\phi|^2 = 2 \left(\frac{I}{4\pi r} \right)^2 [1 + \cos\beta(r_1 - r_2)]$$

Basit matematiksel işlemlerden sonra bağıl empedans katsayısı aşağıdaki biçimde yazılabilir,

$$\xi^2 = \frac{E^2}{(Z_0 H)^2} = \frac{1 + \cos(\theta_1 - \theta_2) \cos\beta(r_1 - r_2)}{1 + \cos\beta(r_1 - r_2)} \tag{5.11}$$

Burada;

$$r_1 = \sqrt{r^2 + (\lambda/4)^2 + (\lambda r/2) \cos\theta}; \quad r_2 = \sqrt{r^2 + (\lambda/4)^2 - (\lambda r/2) \cos\theta}$$

$$\begin{aligned} \cos\theta_1 &= (r\cos\theta + \lambda/4)/r_1; \cos\theta_2 = (r\cos\theta - \lambda/4)/r_2 \\ \sin\theta_1 &= r\sin\theta/r_1; \sin\theta_2 = r\sin\theta/r_2, \quad k=\beta r \end{aligned} \quad (5.12)$$

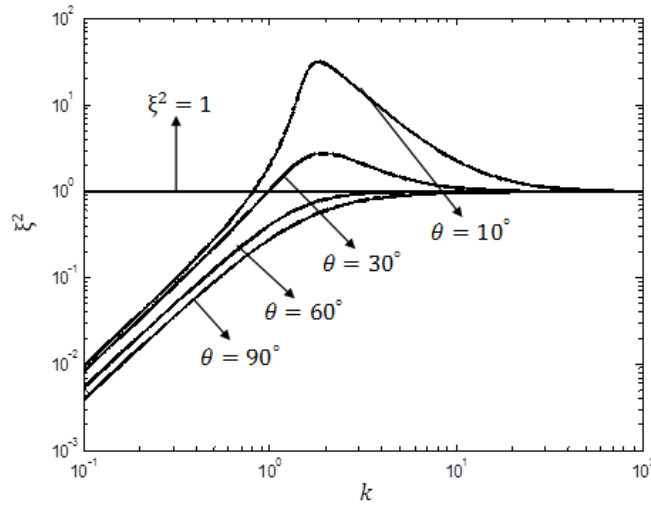
Yukarıdaki ifadede ξ^2 fonksiyonu k ve θ ile ifade edilmiş olursa bu bağıntı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\xi^2 = \frac{1+(k^2-\pi^2/4)\cos(\zeta_1-\zeta_2)/\zeta_1\zeta_2}{1+\cos(\zeta_1-\zeta_2)} \quad (5.13)$$

Burada;

$$\zeta_1 = \sqrt{k^2 + (\frac{\pi}{2})^2 + \pi k \cos\theta}; \quad \zeta_2 = \sqrt{k^2 + (\frac{\pi}{2})^2 - \pi k \cos\theta} \quad (5.14)$$

Şekil 5.17'de bağıl empedans katsayısının $k=\beta r$ parametresine göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Yarım dalga dipol anten için bağıl empedans katsayısının uzaklığa göre değişimi

5.13. eşitliği incelendiğinde empedans katsayısının karakteristik düzeyi için ($\xi^2 = 1$) aşağıdaki denklem elde edilir.

$$16 (4 \cos^2\theta - 1)k^2 - 3\pi^2 = 0 \quad (5.15)$$

Bu denklem $k \rightarrow \infty$ olduğunda $\theta = 60^\circ$ ve $\theta = 120^\circ$ düzeylerinde $\xi^2 = 1$ 'e yaklaşan hiperbolik eğrileri temsil etmektedir. $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 180^\circ$ yönlerinde bu eğriler $k=0.785$ noktasından geçmektedir. $\theta = 90^\circ$ yönünde ışıyan elektromanyetik enerji daha yüksektir, zira $\xi^2 \leq 1$.

Küresel koordinatlarda ise yarım dalga antenlerin yaydıkları \vec{E} ve \vec{H} alanları elektrik dipol antenin özel durumu gibi değerlendirilebilir (2.24 ve 2.25 eşitlikleri). Burada $2\ell = \frac{\lambda}{2}$ olduğu dikkate alınmalıdır.

Görüldüğü gibi antenlerin yaydıkları elektromanyetik alanları değerlendirmek için ortamın yalnız fiziksel parametrelerine (μ , ϵ) bağımlı olan dalga empedansı (Z) kullanılabilir. Zira dalga empedansı, dalganın yayılma frekansından bağımsızdır veya bu ilişki ihmal edilebilecek düzeydedir. Karakteristik dalga empedansı veya bağıl karakteristik empedans katsayısı (ξ) fonksiyonel olarak (βr) parametresine bağımlı olmaktadır. Başka bir deyişle, empedans katsayısı, dolayısıyla da \vec{E} ve \vec{H} alanlarının ve ortalama güç yoğunluğunun (S) antenden uzaklığa göre değişimleri $k = \beta r$ parametresine göre de değerlendirilebilir.

5.2.4. Yeni nesil baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların indirgenmiş karakteristik empedans yöntemiyle incelenmesi

Baz istasyonlarının antenlerinden yayılan elektromanyetik dalgaların yayılma yönünde antenden olan uzaklığa göre değişiminin belirlenmesi problemi elektromanyetik dalga teorisinin esas problemlerinden biridir. Bu problemleri ele almadan önce, literatürde sunulan bazı sonuçları ve yeni nesil baz istasyonları antenlerinin yaydıkları dalgaların bazı özelliklerini hatırlamakta yarar vardır. Anten türüne bağımlı olarak klasik anten teorisinden [92,93], farklı etkenleri dikkate alan yaklaşık teoriler [85, 121-126] özel durumlar için yapılan çalışmalar olup, farklı koşullarda geçerli olmamaktadır. Zira bu çalışmalar esasen ya yakın bölge için ya da uzak bölge için yapılmıştır. Örneğin, dipol antenler için elde edilen 2.24 ve 2.25 eşitlikleri genel biçimde çok az kullanıldığı halde \vec{E} ve \vec{H} alanlarının antenden olan uzaklığa göre değişimleri literatürde farklı yaklaşımlarla aşağıdaki şekilde önerilmektedir [85,121].

Uzak bölgede \vec{E} ve \vec{H} alanların değişimi genel olarak aşağıdaki gibi verilebilir [121],

$$\vec{E}^{inc} = \frac{E_0(r, \theta)}{r} e^{-jkr} \quad (5.16)$$

$$\vec{E}^{ref} = \Gamma_R(\phi', \theta') \frac{E_0(\phi', \theta')}{r} e^{-jkr'} \quad (5.17)$$

Burada Γ_R – yansıma katsayısıdır. Bu durumda dalga denklemlerinin sınır elemanları yöntemiyle yaklaşık çözümleri elde edilebilir [63].

Genel anten teorisinden yararlanılarak, her bir anten türüne ait teorik sonuçların modifiye edilmesinden farklı olarak [85]'te daha farklı bir yaklaşım izlenmiştir. Böyle ki \vec{E} ve \vec{H} alanlarının ifadeleri genel olarak;

$$\vec{E} = \frac{E(r,\theta)}{r^\alpha} e^{-j\beta r} \quad (5.18)$$

$$\vec{H} = \frac{H(r,\theta)}{r^\alpha} e^{-j\beta r} \quad (5.19)$$

biçiminde tanımlanır. Burada $\alpha = \alpha(r)$ olan ampirik bir fonksiyondur. Yakın ve uzak bölgeler için sırasıyla $0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \alpha \leq 3$ seçilebilir [85]. Bu ifadelerden yararlanılarak, elektromanyetik dalgaların yayılmasının, güç yoğunluğu değişiminin belirlenmesi ve yaklaşık hesaplamalarda ortaya çıkan hataların değerlendirilmesi yapılmaktadır [85]. Fakat bu yöntemde belli olmayan $\alpha(r)$ fonksiyonunun seçilmesi bir o kadar da kolay değildir ve bu ilişki farklı koşullarda farklı değerlere sahip olur [85]. Yakın bölge yaklaşımı kullanılarak antenlerin temel parametrelerini ve antenden uzaklaştıkça güç yoğunluğunun değişimini hesaplamak mümkündür [122,123].

Yakın bölgede silindirik yayılıma sahip olduğu varsayılan elektromanyetik dalganın yayılmasının gelişerek uzak bölgede küresel yayılıma dönüşmesi koşulundan gidilerek güç yoğunluğunun tepe değerinin belirlenmesi formülü de elde edilmiştir [122-126]. Bu sonuçlardan yararlanılarak birçok çalışmada [101,102,108] baz istasyonlarının yaydığı elektromanyetik dalgaların farklı frekanslarda güç yoğunluğunun değişiminin hesaplanması için kullanılan klasik yöntemlerden [89] farklı olarak [101,108] de sunulan yöntemler deneysel ve teorik sonuçların mevcut standartlarda (ICNIRP, IEEE) öngörülen limit değerlerle kıyaslanmasına imkan sağlamaktadır. Fakat bütün bu çalışmalarda klasik anten veya antenler dizisinin teorisi bazında yalnız özel durumlar için güç yoğunluğu dağılımının hesaplanması yöntemleri geliştirilmiştir. Yeni nesil haberleşme sistemlerinin baz istasyonlarında ise farklı frekanslarda çalışan sistemlerin (2G, 3G ve 4G) bir antenden yaydıkları elektromanyetik dalga söz konusudur. Bu amaçla KATHREIN (DUAL) anten türleri yaygın olarak kullanılır [108,127,128]. Bu tür farklı frekanslardaki elektromanyetik dalgaların süperpozisyonu olarak yayılan sinyallerin güç yoğunluğu dağılımı da tek frekanslı dalganın güç dağılımından farklı olacaktır [101,102]. Bu nedenle yeni nesil baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik dalga güç yoğunluğunu tek frekans için (GSM veya UMTS) değil geniş band sinyaller (GSM + UMTS) için değerlendirmek gerekmektedir. Bu

durumda yakın veya uzak alan kavramlarının da klasik tanımları değişir, anten parametreleri (dalga boyu, faz katsayısı vb.) de farklı yöntemlerle değerlendirilmelidir. Halen 2G ve 3G sistemlerin kullanılması ve yakın gelecekte 4G ve 5G sistemlerin, Wi-Max, Wi-Fi, WLAN, CDMA ve diğer yeni nesil haberleşme sistemlerinin kullanımının artmasıyla genel olarak belirli bir sinyalin baz alınarak hesaplanması neredeyse imkansız olacaktır. Bu durumda farklı frekansların süperpozisyonu olarak geniş band yüksek frekanslı sinyalin yayılma parametrelerini değerlendirmek için ortamın karakteristik dalga empedansı (Z) veya indirgenmiş karakteristik dalga empedansı katsayısını (ξ) kullanmakta yarar vardır. Önce, ortamın elektromanyetik karakteristik dalga empedansı için aşağıdaki bazı hususları dikkate almak gerekiyor;

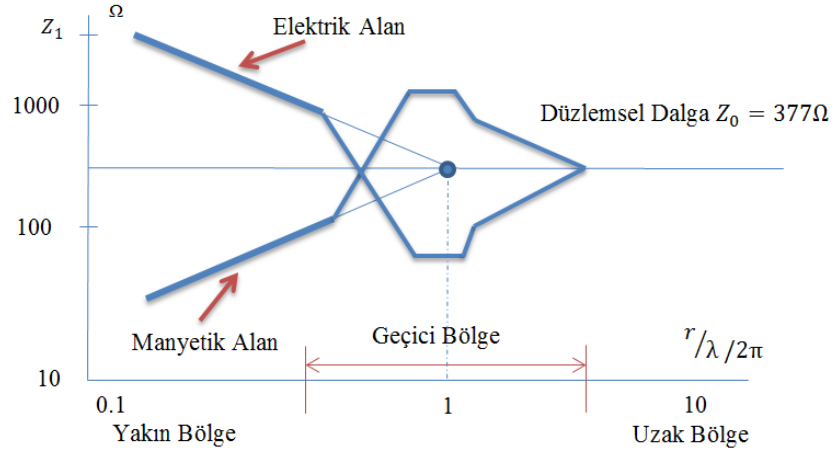
- a) Karakteristik dalga empedansı (Z) ancak dalganın yayıldığı ortamın fiziksel özelliklerine bağlıdır ve boşlukta $Z = Z_0 = 120\pi = 377\Omega$,

$$Z = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\epsilon_r \epsilon_0}} \quad (5.20)$$

- b) $\frac{\lambda}{2\pi r} = 1$ yakın ve uzak bölgeler arasındaki sınırı belirler.
- c) $r \gg \frac{\lambda}{2\pi}$ (uzak bölge) karakteristik dalga empedansı $Z = Z_0 = 120\pi = 377\Omega$. Bu bölge düzlemsel dalga bölgesi adını da alır.
- d) $r \ll \frac{\lambda}{2\pi}$ (yakın bölge) karakteristik dalga empedansı $Z = Z_0 \frac{\lambda}{2\pi r}$. Bu bölge elektrik alan bölgesi veya ışınım direncine göre yüksek dalga empedansı alanı bölgesi adını alır.

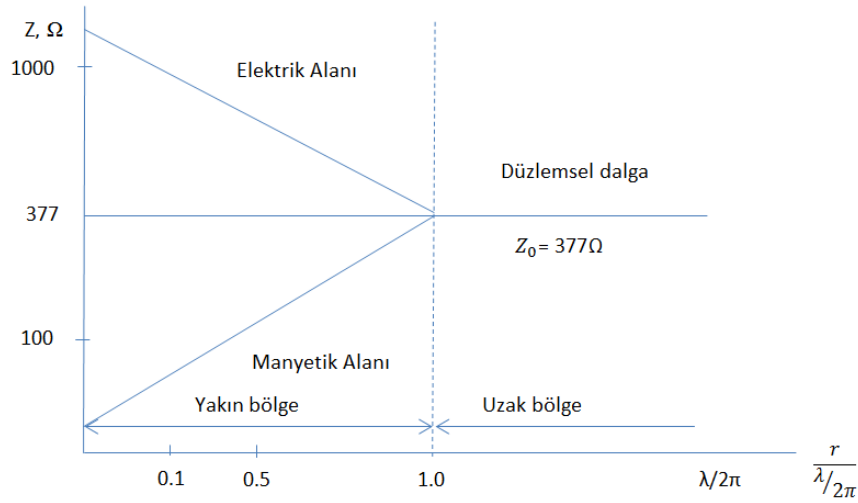
Eğer ışınım elemanı olarak direnci büyük olan kısa tel anten yerine düşük dirençli çevrim çerçevesi seçilmiş olursa, o halde yakın bölgedeki karakteristik dalga empedansı $Z = Z_0 \frac{\lambda}{2\pi r}$ olur. Bu durum ise manyetik alan veya ışınım direncine göre düşük dalga empedansı anlamına karşılık gelmektedir.

Bu durumlar dikkate alındığında yakın, geçici ve uzak alan bölgeleri Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Yakın, geçici ve uzak bölgeler

Şekil 5.18’de gösterilmiş olan bölgeleri belli hata sınırları içerisinde yaklaşık iki bölge biçiminde de gösterebiliriz. Böyle ki, şekilde üst kısımdaki eğri kısa elektrik dipoluna ait olduğundan, indüklenen yüksek frekanslı elektrik akımı çok düşüktür (kaynağın direnci çok büyüktür). Bu kaynağın (dipolün) etrafında dalga empedansı da çok büyüktür ve alanın türünü elektriksel bileşen (\vec{E}) oluşturmaktadır. \vec{E} bileşeni ise r 'ye göre $E \sim \frac{1}{r^3}$ olmakla; $H \sim \frac{1}{r^2}$ olan manyetik bileşenden daha hızla azalır. Dolayısıyla $Z = \frac{E}{H}$ dalga empedansı da azalır ve asimptotik olarak boşluğun empedansına (Z_0) yaklaşır ($Z \rightarrow Z_0$). Düşük dirençli kaynakta ise (akım taşıyan çerçeve) etkin olan manyetik bileşen (\vec{H}) dalga empedansı arttıkça Z_0 'a yaklaşıyor ve uzak bölgede düzlemsel dalga olarak $\frac{E}{H} = Z_0 = 377\Omega$ oluyor (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Yakın bölge ve uzak bölge yaklaşımı

Sonuç olarak, uzak bölgede $Z=Z_0=377\Omega$ olduğu halde yakın bölgede $Z=\frac{E}{H} \neq Z_0=377\Omega$ olup, kullanılan kaynağın (anten) türüne bağımlı olarak $Z > Z_0$ ve $Z < Z_0$ olabilir. Gerçekte bu bölgeler arasında kalan geçici bölgenin sınırlarının belirlenmesi net değildir. Yukarıda söylendiği gibi bu sınırlar uzaklığın dalga boyuna orantısının farklı değerleri olarak tanımlanabilir. Bazı durumlarda ise yakın bölge sınırı net olarak $\frac{1}{6} \lambda$ olarak belirlenir. Elektromanyetik dalganın yayıldığı bölgenin bu şekilde sınıflandırılması aslında yüksek frekanslı gürültü ve bozulmaları değerlendirmek içindir. Zira ancak bu tür sınıflandırmada yüksek frekanslı bozulmaların yalnız elektrik alanla ya da manyetik alanla belirlendiğini söylemek mümkündür. Esas alanın karakterine bağımlı olarak ise etkin korunma veya kalkanlama sistemleri yapılabilir.

Yukarıdaki bütün değerlendirmeler dikkate alındığında yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yayıldığı uzaklıklar (yakın ve uzak bölgeler) arasındaki geçici bölgenin sınırları aşağıdaki gibi belirlenebilir,

$$0.85 \frac{L^2}{\lambda} \leq r \leq \lambda + \frac{2L^2}{\lambda} \quad (5.21)$$

Yeni nesil baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanlarda oluşan yakın ve uzak bölge tanımlanmasından ziyade, gereken bölgede veya noktadaki \bar{E} , \bar{H} ve \bar{S} değerlerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu değerler, o bölgede bulunan kullanıcıların, elektronik cihaz ve düzeneklerin, canlı ve biyosistemlerin elektromanyetik alan maruziyetini değerlendirmeye imkân verir. Yüksek frekanslı antenlerde dalga boyunun çok küçük (cm ve mm) olduğu göz önüne alınacak olursa, yeni nesil baz istasyonlarının etkilediği bütün sistemler uzak bölge kapsama alanına karşılık gelmektedir. Buna göre bütün araştırmalarda uzak alan yaklaşımları kullanılmaktadır. Oysa, kaynaktan (antenden) uzaklaştıkça \bar{E} , \bar{H} ve \bar{S} parametrelerinin değerleri bölgesel değişim değil; sürekli azalma eğiliminde olurlar. Farklı frekanslı dalgaların süperpozisyonunda bu azalma non lineer özelliğe sahip olur.

Bu nedenle \bar{E} , \bar{H} ve \bar{S} faktörlerinin baz istasyonu antenlerinden uzaklaştıkça bölgesel değil, sürekli azalan fonksiyonlarla belirlendiği önerilebilir. Yayılan dalganın çeşitli frekanslı kaynaklardan oluştuğu göz önüne alındığında dalganın yayılma sabitinin değişiminin de tek bir dalganın faz katsayısı (β) ile değil, pratik ölçümlerden elde edilen belirsiz katsayılarla belirlendiği varsayılmaktadır. Bu

katsayılar, dalganın frekans değerleri belli bir dizinle (450MHz, 900MHz, 1800MHz, 2100MHz, 2250MHz vs) değiştiğinde Fourier serisine benzerliğinden belirlenebilir. Genelde ise bu dalgalar geniş band oldukları için onların değişim karakterlerinin gerekli ölçümlerle ve teorik yaklaşımlarla belirlenmesinde yarar vardır.

5.2.1 \bar{E} , \bar{H} alanlarının ve \bar{S} güç yoğunluğu değişimlerinin belirlenmesi

Yukarıda 5.26 ve 5.27 eşitliklerinden yararlanılarak elektrik dipolu için \bar{E} ve \bar{H} alanlarının $k=\beta r$ boyutsuz uzaklığa göre genliklerinin değişimleri belirlenmiştir (5.5 eşitliği). Alanın bu değerlerinden yararlanarak baz istasyonunun anteninin yaydığı elektromanyetik dalgaların antenden olan uzaklığa göre değişimlerini belirlemek mümkündür. Fakat bu işlemlerde aşağıdaki önemli hususlar yer almaktadır:

- Baz istasyonları antenleri bireysel dipoldan değil, sonlu sayıda dipol anten dizinlerinden oluşmuştur.
- Baz istasyonları antenleri aynı anda hem GSM, hem de UMTS sinyallerini yaymaktadırlar (örneğin KATHREIN türü antenler).

Bu özellikler dikkate alındığında \bar{E} ve \bar{H} alanlarının tek dipol anten için belirlenmiş faz katsayısının (β) tanımı isabetli olmamaktadır. Bu tanımı düzeltmek için βr yerine $(\frac{r}{r_0})$ orantısı kullanmak daha genel bir yaklaşım olur. Burada r_0 antenin merkezinden, anten geometrisinin yüzeyine kadar olan uzaklık olarak varsayılabilir. Bu durumda, antenden olan boyutsuz uzaklık $\frac{r}{r_0} > 1$ olur. Gerçekte ise bütün bu durumlarda yakın bölgede dalganın biçimi karmaşık şekilde olup, yalnız uzak alan sınırlarına yaklaşıldığında küresel simetriye sahip olur. Bu nedenle $\frac{r}{r_0}$ orantısında; r_0 -dalganın karmaşık biçimden, küresel simetriye dönüştüğü bölgeye kadar olan uzaklıktır. Bu tanım dalganın yakın bölgede silindirik biçimden, uzak bölgedeki küresel biçime dönüştüğü sınıra olan uzaklık şeklinde literatürde kullanılmıştır [122-126]. Bu yaklaşımın anten parametrelerinin hesaplanmasında bazı kolaylıklar sağladığı da literatürde sunulmuştur [101,102,108]. Eğer 5.3 eşitliğinde $k = \beta r$ yerine $k = \frac{r}{r_0}$ yazarsak, o halde \bar{E} ve \bar{H} alanlarının genliklerini $(\frac{r}{r_0})$ cinsinden yazılabilir.

Gerçekte bu değişim alan değişimlerinin tam şeklini ifade etmez. Zira yaklaşık bir yöntem olmakla bu uygulamada \bar{E} ve \bar{H} alanlarının diğer koordinatlara göre (ϕ , θ) değişimleri ve antenin eğim açısı dikkate alınmamaktadır. Bu parametreler deneysel ölçüm sonuçlarına göre düzeltme katsayısı olarak da göz önüne alınabilir. Böylece,

$k = \frac{r}{r_0}$ olmakla, $|\bar{E}|$ ve $|\bar{H}|$ fonksiyonları aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$E^2 = \left(\frac{l}{2\pi} \cdot \beta_0^2 Z_0\right)^2 \frac{1}{k^2} \left\{ \left(\frac{1}{k^4} + \frac{1}{k^2}\right) \cos^2 \theta + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{k^4} + \frac{1}{k^2} + 1\right) \sin^2 \theta \right\}$$

$$H^2 = |H_\phi|^2 = \left(\frac{l}{4\pi} \cdot \beta_0^2\right) \frac{1}{k^2} \left(\frac{1}{k^2} + 1\right) \sin^2 \theta \quad (5.22)$$

Bu ifadelerde $H_0 = \frac{l}{4\pi} \cdot \beta_0^2$ - manyetik alanın etkin değeri olduğu kabul edilir. O halde $E_0 = Z_0 H_0$ olur ve bu denklemler aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$E^2 = E_0^2 \frac{1}{k^6} [(1+k^2) \cos^2 \theta + \frac{1}{4} (k^4 - k^2 + 1) \sin^2 \theta] \quad (5.23)$$

$$H^2 = \frac{H_0}{4k^4} (1+k^4) \sin^2 \theta \quad (5.24)$$

ise antenlerin yaydığı elektromanyetik alanın, güç yoğunluğunun yaklaşık değeri aşağıdaki şekilde elde edilir,

$$\frac{S_{av}}{S_0} = \frac{1}{4k^5} [(1+k^2)^2 \sin^2 2\theta + (k^6 + 1) \sin^4 \theta]^{0.5} \quad (5.25)$$

Görüldüğü gibi, eğer antenin yaydığı elektromanyetik alanın silindirik (veya eliptik) alan şeklinden, küresel biçime dönüştüğü uzaklık r_0 belli olursa, o halde \bar{E} , \bar{H} ve S_{av} değişimlerini 5.23 ve 5.25 eşitlikleriyle değerlendirebiliriz. Güç yoğunluğu değişimini değerlendirmek için onun etkin veya tepe değerini (S_0) önceden belirlemek gerekir.

Güç yoğunluğu için pratikte uygulanan bazı formüller aşağıdaki gibidir,

$$S_0 = \frac{P_{in} G}{4\pi r^2} \quad (5.26)$$

$$S_0 = \frac{E^2}{377} = 377 H^2 \quad (5.27)$$

Bu formüller ölçümlerden alınan değerler ile her zaman iyi uyum sağlamamaktadırlar [101]. Bu formüllerde S_0 - güç yoğunluğu (W/m^2), P_{in} - antenin giriş gücü, G - anten kazancı, r - antenden olan uzaklıktır. Dahası 5.27 eşitliği $E \perp H$ bölgesi için geçerlidir. Zira yakın bölgede bu koşul sağlanmadığından 5.27 eşitliği bu bölgedeki ölçümler için geçerli değildir. En önemlisi ise birçok elektromanyetik alan ölçümü düzeneklerinde S ölçümü için 5.27 eşitliğindeki ilişki kullanılır. Uzak bölge için geçerli olan bu formül, yakın bölgelerdeki alanları değerlendirmek için geçerli değildir. Dolayısıyla, eğer r_0 verilen baz istasyonu için doğru belirlenmiş olursa, o

halde 5.25, eşitliğine göre S'nin değişimini daha gerçek koşullar için belirlemek mümkündür. Antenin bulunduğu noktadan hesaplanan r_0 – uzaklık ve buna uygun elektromanyetik alan güç yoğunluğu değişimi aşağıdaki gibi değerlendirilebilir.

5.4. Baz İstasyonlarının Yayıdıkları Elektromanyetik Alanın Yakın ve Uzak Bölgelerdeki Güç Yoğunluğu Dağılımının Değerlendirilmesi

Baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alan seviyesini veya güç yoğunluğunu hesaplamak için farklı yaklaşımlar kullanılır [85, 99, 108, 122-126].

Birçok çalışmada bireysel baz istasyonunun gözlem noktasından (R, θ , ϕ) güç yoğunluğu değeri şu şekilde hesaplanır,

$$S=0.08 \frac{P_{in}}{R^2} 10^{G/10} (W/m^2) \quad (5.28)$$

Eğer baz istasyonu N sayıda benzer antenden oluşmuşsa, o halde gözlem noktasındaki toplam güç yoğunluğu $\sum_{i=1}^N S_i$ olur. Bu yöntem baz istasyonundan uzak bölgede güç yoğunluğunu veya maruziyeti, belirlemenin basit yoludur. Fakat bu yöntem elektromanyetik dalganın yayıldığı gerçek koşulları ve çevresel etkileri dikkate almaya imkân vermemektedir.

Baz istasyonlarının antenlerinin veya anten dizilerinin yaydığı güç yoğunluğunun belirlenmesinin gelişmiş yöntemi [122-126]'te verilmiştir. Bu yöntemlerde baz istasyonlarından yayılan güç yoğunluğunun yakın bölgedeki ortalama değerleri [122] veya tepe değeri [123] hesaplanabilir.

Baz istasyonlarının periyodik ve non periyodik dizilerinin yakın bölgelerindeki alan yayılımının teorik incelenmesi de yapılmıştır [124]. Bu çalışmada elde edilen sonuçları kısaca olarak aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

Bir bölgesel antende elektromanyetik alanın yakın bölgede silindiriksel biçimden, uzak bölgedeki küresel şekle dönüşmesi, antenden r_0 uzaklığında oluşmaktadır ve bu uzaklık aşağıdaki gibi hesaplanabilir [122],

$$r_0 = \frac{\phi_{3dB}}{6} D_A L \quad (5.29)$$

Burada ϕ_{3dB} – yatay yönde yarım güç (-3dB) genişlik, D_A – antenin yönlülüğüdür, L - antenin uzunluğudur (boyu).

Baz istasyonlarında yaygın olarak kullanılan bölge antenlerin (sektörel anten) yakın (silindiriksel) bölgede yatay yöndeki ortalama güç yoğunluğu (r, ϕ) koordinatlarında

$$s_r(r, \phi) = \frac{W_{rad} 2^{-(\phi/\phi_{3dB})^2}}{2\phi_{3dB} r L \sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}} \quad (5.30)$$

olarak belirlenebilir [122]. Burada W_{rad} - ışıma gücü olup, $W_{rad} = e_A P_{in}$ olarak hesaplanabilir. e_A - antenin faydalanma katsayısı, P_{in} - giriş gücüdür.

Bu durumda baz istasyonunun anteninden, gözlem noktasına olan uzaklık ise aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$r = r(s) \approx r_0 \frac{q}{\sqrt[4]{1+q}} \quad (5.31)$$

$$\text{Burada } q = \frac{3W_{rad} 2^{-(\phi/\phi_{3dB})^2}}{\phi_{3dB}^2 L^2 D_A S} \quad (5.32)$$

5.30 ve 5.31 eşitlikleri baz istasyonu anteninden yayılan ve gözlem noktasındaki güç yoğunluğunu ve bu noktada bulunan canlıların maruziyetini değerlendirmeye imkan verir. Bu veriler IEEE standartlarına [89,90] göre canlıların maruz kaldıkları elektromanyetik alan seviyeleri ile kolaylıkla kıyaslanabilir.

ICNIRP standartları referans alınarak, güç yoğunluğunun tepe değerleri kıyaslanabilir. Bu durumda baz istasyonu anteninden, gözlem noktasındaki (r uzaklık) güç yoğunluğunun tepe değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir [123].

$$S_r^{peak}(r, \phi) = \frac{W_{rad} 2^{-(\phi/\phi_{3dB})^2}}{\phi_{3dB} r L \sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}} \quad (5.33)$$

Güç yoğunluğunun bu değerine karşılık gelen ve antenden yatay yöndeki olan uzaklık ise

$$r^{peak} = r(S^{peak}) \approx r_0 \frac{2q}{\sqrt[4]{1+(4q)^2}} \quad (5.34)$$

olur. Burada q - 5.30 eşitliğinde, S yerine S^{peak} değeri konularak hesaplanır. Ancak tümüyle teorik bir yaklaşım olan bu sonuçlar [122-126] reel ortamın karakteristik parametrelerinin çoğunun ihmal edildiği yaklaşık yöntemdir. Farklı frekanslara sahip olan elektromanyetik dalgalar üreten kombine antenlerde bu formüllerin geçerliliği kanıtlanmamıştır ve formüllerin uygulanabilir olması, çok sayıda deneysel ölçümlerle ispatlanmalıdır. Bütün bu çalışmalardan görüldüğü gibi baz istasyonlarının gözlem noktasındaki etkisini (canlı, çevre veya biyolojik) iki yöntemle değerlendirmek mümkündür.

- a. Elektromanyetik dalgaların reel koşullar göz önüne alınarak hesaplama ve simülasyon yöntemlerinin geliştirilmesi yöntemiyle. Bu yöntemde, E , H bileşenleri veya S güç yoğunluğunun düzeltilmiş ifadeleri elde edilir.
- b. Baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların yüksek hassasiyetli cihazlarla donatılmış ve metodolojik açıdan geliştirilmiş yöntemlerle ölçülmesi ve değerlendirilmesi yöntemi.

İkinci yöntemde yer alan yüksek maliyetli cihazların sürekli kalibrasyonu ve periyodik veya sürekli ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Dahası bu düzenekler ve ölçüm yöntemleri bazı uluslararası standartların taleplerine ve protokollerine uygun olmalıdır [108].

Bu nedenle baz istasyonlarının yaydıkları gözlem noktasındaki elektromanyetik alanın değerlendirilmesinin birinci yöntemle göre yapılması daha kolaydır. Zira bu yaklaşımda elde edilen teorik sonuçlar, yapılan ölçümlerle kıyaslanarak; yönteminin geçerliliği kanıtlanmış olacaktır. Bu durumda sürekli ölçüm yöntemlerinin (örneğin MonitEM sistemleri gibi) kullanılması daha reel ölçüm sonuçlarını elde etmeye imkân verir.

Böylece ister tek veya seçilmiş frekansta, isterse de birkaç frekansın süperpozisyonundan oluşan elektromanyetik alan dağılımını değerlendirmek için aşağıdaki teorik modeller önerilebilir.

1. Teorik Model, 5.23 eşitliği kullanılarak S_{av}/S_0 değerlendirilebilir.

Burada r_0 5.29 eşitliği ile veya 5.7 ve 5.19 eşitlikleri dikkate alınarak $r_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$(\lambda + \frac{2L^2}{\lambda})$ olarak hesaplanabilir. Antene dik yönde ($\theta=90^\circ$) bu eşitlik aşağıdaki

gibi olur,

$$\frac{S_{av}}{S_0} = \frac{1}{4} \frac{(k^6 + 1)^{0.5}}{k^5} \quad (5.35)$$

Baz istasyonundan yeterince uzak bölgede ise ($k \gg 1$) bu ifade aşağıdaki gibi basitleştirilebilir,

$$\frac{S_{av}}{S_0} = \frac{1}{4k^3} [(Sin^2 2\theta + k^2 Sin^2 \theta)]^{0.5} \quad (5.36)$$

Burada r_0 için belirleyici olan λ dalga boyu ise antenin yaydığı en düşük frekanslara karşılık gelen dalga boyudur,

$$\lambda = \lambda_{900} \quad (5.37)$$

2. Teorik Model, $\frac{S_{av}}{S_0}$ oranı azalan bir exponent fonksiyonu olarak seçilebilir,

$$\frac{S_{av}}{S_0} = e^{-\alpha r} \quad (5.38)$$

Burada $\alpha \equiv \frac{1}{r_0}$ olan ampirik katsayıdır. Bu katsayının gerçek değeri elektromanyetik alanın birkaç ölçümleri ile düzeltiler. Bu yaklaşımda E ve H alanlarının genlikleri,

$$E = E_0 e^{-\alpha_1 r}; \quad H = H_0 e^{-\alpha_2 r} \quad (5.39)$$

olarak belirlenebilir. Bu durumda pratik hesaplamalarda

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha n; \quad \alpha_2 = \frac{1}{2} \alpha_1 \quad (5.40)$$

olarak da belirlenebilir. Eksponent fonksiyonu içeren yaklaşımın pratik açıdan kullanışlı olduğu açıkça görülmektedir.

3. Teorik Model, referans [122-126]'te önerilen formüllerin, düzeltilmiş biçimi olan yaklaşık yöntem. Bu yöntemde E ve H alanları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E = \frac{E_0}{\left[1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right]^\alpha}; \quad H = \frac{H_0}{\left[1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right]^{\alpha_1}}; \quad \alpha = \frac{\left[1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right]^{0.5}}{\frac{r}{r_0}}; \quad \alpha_1 = \frac{2}{3} \alpha \quad (5.41)$$

4. Teorik Model, referans [118]'de elde edilmiş dalga empedansı yönteminin geliştirilmiş formu. Bu yöntemde E ve H alanlarının genlikleri aşağıdaki gibi değerlendirilebilir,

$$\left(\frac{E}{E_0}\right)^2 = \frac{1}{r^\alpha}; \quad \alpha = 1 + \frac{1.2}{r}; \quad \left(\frac{H}{H_0}\right)^2 = \frac{1}{r^{\alpha_1}}; \quad \alpha_1 = 1 + \frac{0.6}{r} \quad (5.42)$$

Bu ifadelerde E_0 , H_0 - elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin etkin değerleridir. S_0 ise eşitlik 5.30 veya 5.31'e göre hesaplanabilir. Yaklaşık hesaplamalarda S_0 değeri 5.28 eşitliğinde $R=r_0$ yapılarak da hesaplanabilir.

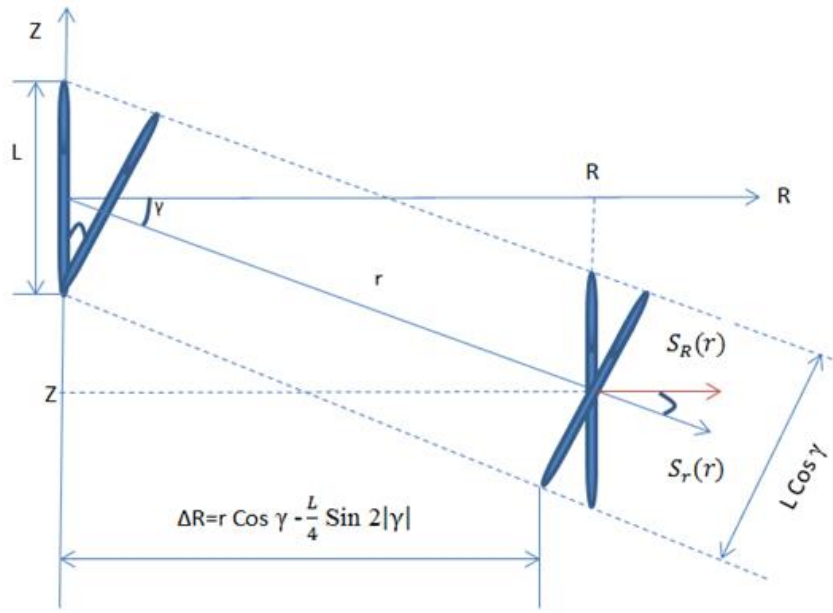
Sunulan teorik modellerden 1. ve 2. yöntemlerde önerilen yaklaşımların pratik açıdan daha kullanışlı oldukları düşünülmektedir. Bu nedenle bu yöntemlerin deneysel ölçümlerle kıyaslanmasını ele alalım. Önce bu yaklaşımda önem arz eden aşağıdaki iki hususu göz önüne almak gerekiyor;

- a. 5.25, 5.34, 5.35 eşitlikleri bir tek elektrik dipolu için elde edilen formülden türetilmiştir. Günümüzde kullanılan antenler ise N sayıda dipoldan oluştuğuna göre anten uzunluğu, (ℓ) aşağıdaki gibi belirlenir.

$$L = N \cdot m + \ell \quad (5.43)$$

Burada $m \leq \lambda$ iki dipolun merkezleri arasındaki uzaklıktır. Her bir dipolun I genliğine sahip olan, zamanla harmonik değişen akım taşıdığı düşünülmemektedir.

- b. Yukarıda önerilen bütün formüllerde 5.23, 5.32, 5.33, 5.35, 5.36 ve 5.38 eşitliklerine göre S güç yoğunluğunun yayılmasının antene dik yönde ($\theta = 90^\circ$) veya zemine paralel yönde olduğu varsayılmaktadır. Pratikte ise antenler çoğu kez dikeye belli bir γ açısı altında monte edilmektedir. Bu durumda elektromanyetik dalganın yayılması yönünde geometrik parametreler arasında Şekil 5.20'de gösterilen ilişkiler vardır [123],



Şekil. 5.20. Antenin γ açısı altında yerleştirilmesi durumunda parametreler arasındaki ilişki

$|\gamma| \leq 10^\circ$ olursa, r yönde yayılan güç yoğunluğu aşağıdaki gibi belirlenebilir [123].

$$S_r(r, \gamma) = \frac{W_{rad}}{2\pi r L \cos^2 \gamma \sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}} ; \quad r_0 = D_A \frac{L}{2} \cos^2 \gamma \quad (5.44)$$

r yönünde yayılan dalganın güç yoğunluğu da R yönüne göre aşağıdaki gibi olur;

$$S_r(r) = S_R(r) \cos \gamma \quad (5.45)$$

Yakın ve uzak bölgeler arasındaki sınıra olan uzaklık ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$r_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{\lambda}{\cos \gamma} + \frac{2L^2}{\lambda} \cos \gamma \right) \approx (1.2 \dots 1.3) \frac{L^2}{\lambda} \cos \gamma \quad (5.46)$$

5.5. \vec{E} , \vec{H} alanları ve \vec{S} güç yoğunluğu değişimlerinin teorik modellerinin deneysel sonuçlarla kıyaslanması

Yukarıda önerilen teorik modellerin sonuçları, tez çalışmalarından elde edilen ölçümlerden alınmış ve literatürde sunulan bazı çalışmaların deneysel verilerine dayanarak değerlendirilebilir. Yeni nesil haberleşme sistemlerine (3G ve 4G) ait baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların ölçülmesi ve değerlendirilmesine ait kapsamlı çalışmalar fazla değildir. Fakat sunulan bazı sonuçlara göre [121,127,128] ilk değerlendirmeler yapılabilir. Bu çalışmalarda yeni nesil haberleşme sistemlerinin, baz istasyonlarında kullanılan antenlerinin detaylı ölçümleri yapılmış, E , H alanlarının ve S güç yoğunluğunun değişimleri sunulmuştur.

Deneysel çalışmalarda ölçümlerde yaygın olarak kullanılan KATHREIN mobil iletişim antenleri ele alınmıştır. Antenlerin çalışma frekansları; 806-960/1710 2180/1710 – 2180 MHz. Maksimum güç 250W, elektriksel eğim faktörü 2.10°/0 10 °/0- 10 °, kazancı 17.5/17.5/17dB'dir.

Genelde baz istasyonlarının güçleri büyük değildir (40W-80W). Yüksek kaliteli antenlerde bu değerler anten başına 20W civarında olabilir. Buna rağmen bu baz istasyonlarının kapsama alanları yeterince uzak mesafeleri kapsayabilir (16-30km). Bunlara ek olarak antenler binaların çatı katlarında ve hatta cami minarelerinde, kule tipi trafoların çatılarında vb yerlerde monte edilmektedir.

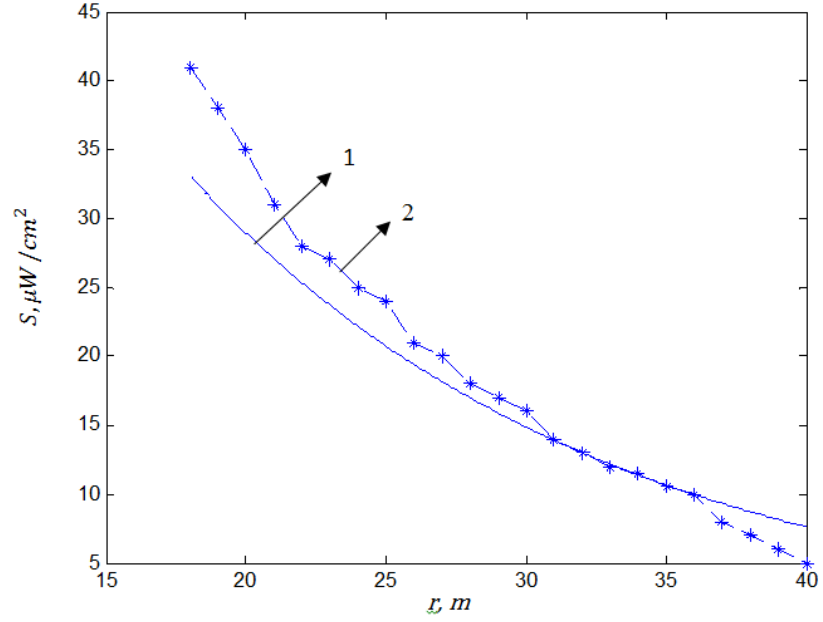
Deney sonuçlarına [126] göre KATHREIN antenlerin yaydıkları elektromanyetik alanın \vec{E} bileşeninin etkin değişimi antenden 1m'den 15m uzaklıkta başlar ve yaklaşık olarak 5 kat azalır, 64V/m'den 13V/m'e kadar. Antenden 20m ve daha uzak mesafede ise \vec{E} bileşeninin değişim hızı azalmaktadır ve yaklaşık olarak 11V/m'den 4V/m'ye düşer.

Elektromanyetik alanın \vec{H} bileşeninin değişimi de \vec{E} bileşeninin değişimine benzer olur ve 1m'den 15m'ye olan uzaklıkta \vec{H} bileşeni 5.7 kez azalır ve 0.2 A/m'den 0.035A/m'ye düşer. Antenden uzaklaştıkça H bileşeni sürekli olarak azalır ve 0.033A/m'den 0.011A/m'ye düşer.

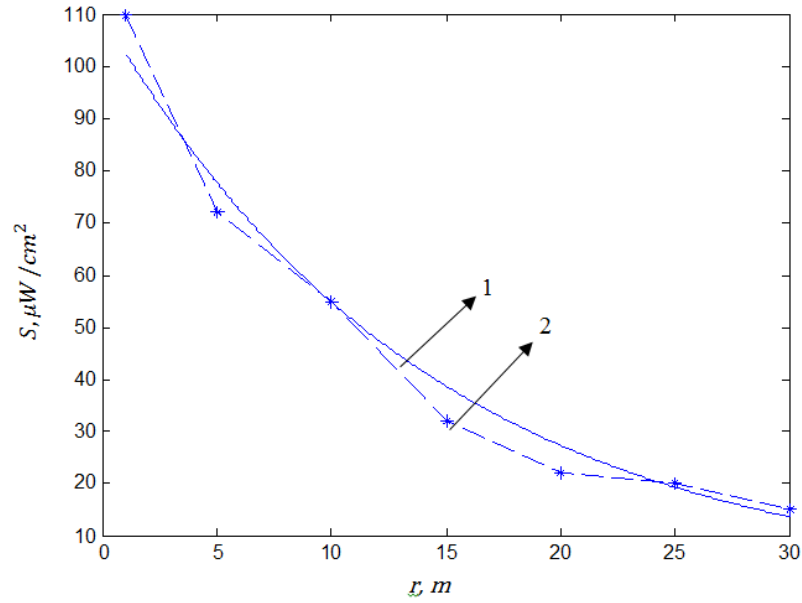
Elektromanyetik alan güç yoğunluğu (S) antenden uzaklaştıkça etkin olarak azalır. Antenden 18m mesafede elektromanyetik alanın güç yoğunluğu $41\mu\text{W}/\text{cm}^2$ değerinden standartlarda önerilen $10\mu\text{W}/\text{cm}^2$ değerine, 4 kattan fazla azalmış olur.

Antenden uzaklaştıkça güç yoğunluğu azalarak 40m civarında 2-3 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ değerine düşer. Antenden 37m uzaklıkta güç yoğunluğu 9-10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ civarında olup standardın önerdiği limit değerlere ulaşmaktadır [90].

Benzer veriler P. Baltrenas ve arkadaşlarının daha önce yayımladıkları çalışmalarda [127] verilmiştir. Buradaki deney sonuçları da [128]'dekilere benzerlik göstermektedir.



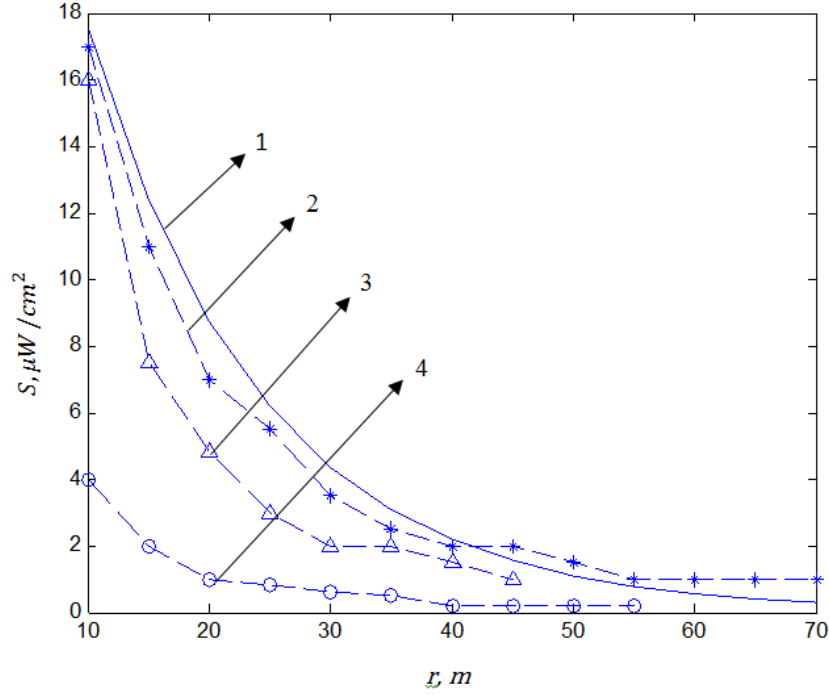
Şekil 5.21. KATHREIN antenlerin yaydıkları güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimi, 1- Teorik sonuçlar (5.38 eşitliği); 2- Deneysel sonuçlar [127].



Şekil 5.22. KATHREIN antenlerin yaydıkları güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimi 1-Teorik sonuçlar (5.38 eşitliği); 2-Deneysel sonuçlar [128].

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de bu deneysel sonuçların 5.38’deki eşitlik kullanılarak teorik sonuçlarla kıyaslanması gösterilmiştir. Bu kıyaslamadan görüldüğü gibi önerilen denklem her iki deney sonuçları ile de iyi uyum sağlamaktadır. Teorik hesaplamalarda $\gamma=7.5^\circ$, anten uzunluğu $L=2m$ [128], olduğu dikkate alınmıştır. Bu durumda $\lambda=\frac{1}{3}m$ seçilir. Antenden olan karakteristik uzaklık ise;

$$r_0 = (1.2 \dots 1.3) \frac{L^2}{\lambda} \cos \gamma \approx 15.5m \text{ olur.}$$



Şekil 5.23. GSM 900 antenin yaydığı elektromanyetik alan güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimi, 1 – Teorik sonuçlar (5.38 eşitliği); 2– Deneysel sonuçlar [129]; 3– Saat 11:00 için deneysel sonuçlar [130] ve 4– 06:00 için deneysel sonuçlar [129].

Aynı yaklaşımla 5.38 ve 5.46 eşitlikleri kullanılarak [129]’da yapılan çalışmalardan elde edilen deney sonuçlarının modellenmesi Şekil 5.23’de gösterilmiştir. Bu çalışmada [129] GSM 900MHz frekanslarında yapılan deney sonuçları günün farklı saatleri için verilmiştir. Şekil 5.23’den görüldüğü gibi günün esas çalışma saatlerine karşılık gelen deney sonuçları, 5.46 eşitliğinden elde edilen sonuçlarla iyi uyum sağlamaktadır. Fakat saat 06:00’da ve saat 11:00’da yapılmış olan ölçümler daha düşük değerlere denk gelmektedir. Bu düşüşün esas nedenlerinden biri, bu saatlerde ölçüm yapılan baz istasyonlarındaki iletişim trafiğinin (erlang) yoğun olmamasıdır. Görüldüğü gibi bu durumda teorik ve

deneysel sonuçların farklı oldukları görülmektedir. Fakat bu durumlar için yapılan 1 veya 2 ölçüm sonucu Eşitlik 5.48'deki ifadede düzeltme katsayısı kullanılarak iyi uyum sonuçları elde edilebilir. Zira Şekil 5.23'deki deney sonuçları farklı olsa da S 'in değişimi yaklaşık olarak aynıdır. Benzer sonuçlar literatürde sunulan diğer çalışmalarda da [130] elde edilmiştir. Bu yaklaşımlarda güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimi, yakın bölgede $\frac{1}{r}$, uzak bölgede ise $\frac{1}{r^2}$, olarak değişimlerine göre de değerlendirme yapılmıştır [131]. Bu çalışmada dalganın silindirik biçimden küresel biçime değişiminin sınırları ise (r_c) aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

$$r_c = \frac{G(\theta, \phi)L}{4} \left(\frac{180}{\theta_{bw}} \right) \quad (5.47)$$

θ_{bw} burada antenin yön genişliğidir. Çizelge 5.9'da günümüzde yaygın olarak kullanılan frekansı $f=870-960$ MHz olan antenlerin, anten parametrelerine göre hesaplanmış r_c değerleri verilmiştir. Çizelge 5.9.'dan görüldüğü gibi, anten parametrelerine göre hesaplanmış r_c değerleri 5.21 eşitliğindeki sınırlara (r_0) denk gelmektedir.

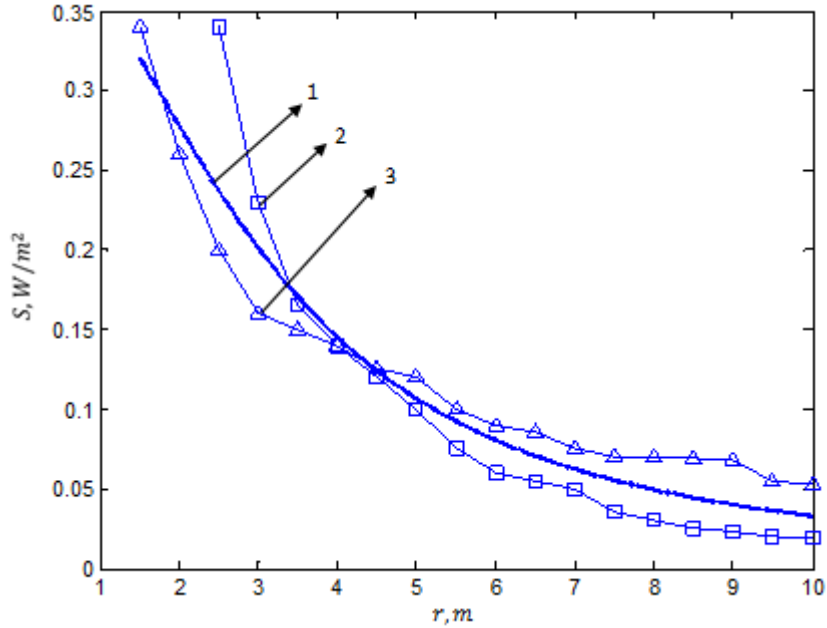
Şekil 5.24'de Çizelge 5.9'daki anten değerleri dikkate alınarak [131] güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimi gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan anten parametreleri aşağıdaki gibidir. Anten türü K 730370, anten kazancı $G(\theta, \phi)=14$ dB (25.1 W/W), $\theta_{bw} = 90^\circ$, $L=1290$ mm, $f=870-960$ MHz. Bu değerlere göre Eşitlik 5.47'den hesaplanmış sonuç $r_c=4.05$ m olmuştur. Eşitlik 5.21'den hesaplanan r_0 değerinin alt sınırı bu değere karşılık gelmektedir (Çizelge 5.9). Aynı grafik üzerinde 5.41 eşitliğine göre hesaplanmış güç yoğunluğu değişimleri verilmiştir. Burada karakteristik uzaklık 5.46 eşitliğine göre değerlendirilmiştir.

Teorik (Eşitlik 5.41) ve deneysel [131] sonuçların iyi uyum sağladıkları açıkça görülmektedir. Bu yaklaşımlar dikkate alındığında elektromanyetik dalganın antenden uzaklaştıkça eşdeğer düzlemsel güç yoğunluğunun değişimini de hesaplayabiliriz. Eşdeğer düzlemsel güç yoğunluğu antenin net giriş gücünün (P_{in}), antenin L yüksekliğini çevreleyen r yarıçaplı sanal silindirin yüzey alanına orantısı olarak belirlenebilir.

$$S = \frac{P_{in}}{\pi r L} \left(\frac{180}{\theta_{bw}} \right) \quad (5.48)$$

Gerçekte baz istasyonunun antenine yakın bölgede dalganın bizzat silindirel biçimde yayılması hipotezi net değildir. Elektromanyetik dalganın uzak alanda

küresel biçimde yayılması ise daha gerçekçi bir yaklaşımdır. Bu nedenle her iki modelin geçiş sınırını belirleyen 5.21 ve 5.47 eşitlikleri pratik hesaplamalar için önem taşımaktadırlar.



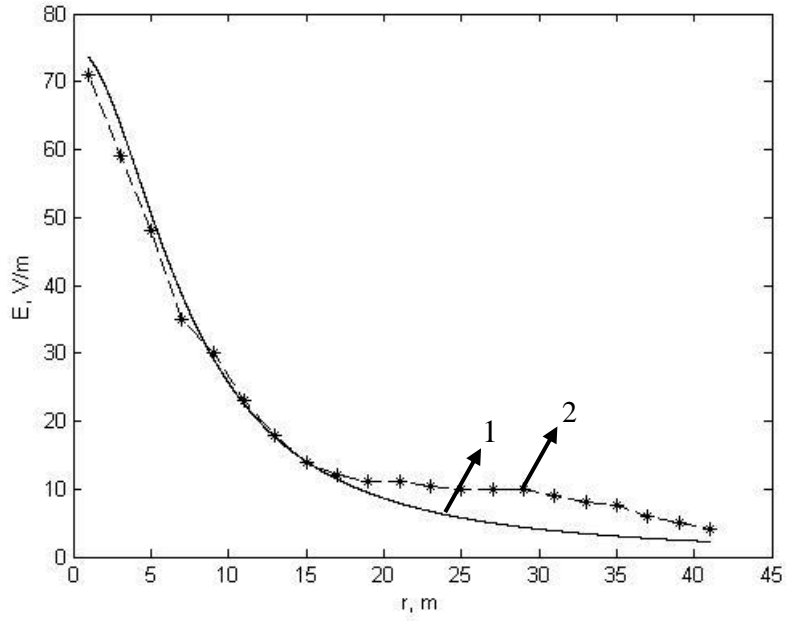
Şekil 5.24. KATHREIN K-730370 antenin yaydığı güç yoğunluğu değişimi; $P_{in}=1W$, $f=900MHz$ [131], 1-Teorik, 2-Uzak alan modeli, 3-Silindrisel dalga modeli.

Çizelge 5.9. Baz istasyonu düzlemsel anteninden olan karakteristik uzaklıklar [131].

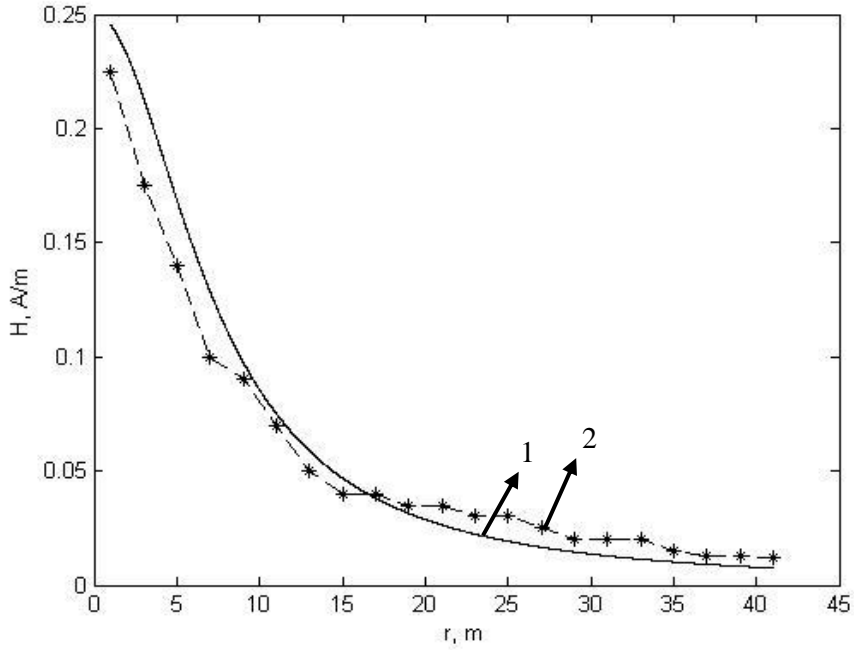
θ_{bw} [der]	G [dBi]	L [mm]	r_c [m]	$2L^2/\lambda$ [m]	$0.85L^2/\lambda$ [m]
65	14	974	2.2	5.6	2.4
65	17	1934	8.7	22.4	9.5
90	14	1294	4.1	10.0	4.2
90	17	2574	16.1	39.6	16.8
105	13.5	1294	4.2	10.0	4.2
105	16.5	2574	16.7	39.6	16.8
120	13	1294	4.3	10.0	4.2
120	16	2574	17.1	39.6	16.8

Önerilen teorik modellerin (5.38-5.42) kullanılabilir olduğunu göstermek adına, antenin yaydığı \vec{E} ve \vec{H} alanlarının da antenden uzaklığa göre değişimlerini göstermek mümkündür. Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da sırasıyla \vec{E} ve \vec{H} alanının antenden olan uzaklığa göre değişimlerinin teorik (Eşitlik 5.41) ve deneysel [131]

sonuçları gösterilmiştir. Her iki durumda da bu sonuçların iyi uyum sağladıkları görülmektedir.



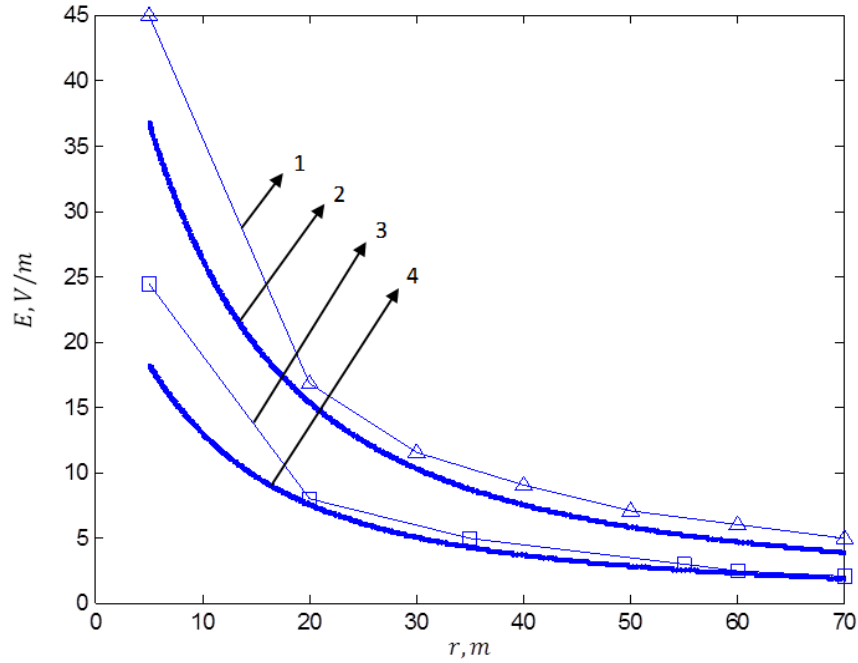
Şekil 5.25. Elektrik alan şiddetinin baz istasyonu anteninden olan uzaklığa göre değişimi: 1-Teorik model (Eşitlik 5.41); 2- Deneysel sonuçları [131].



Şekil 5.26. Manyetik alan şiddetinin baz istasyonu anteninden olan uzaklığa göre değişimi: 1-Teorik model (Eşitlik 5.41); 2- Deneysel sonuçları [131].

Şekil 5.27'de ise Malatya şehir merkezinde konumlandırılmış bir baz istasyonunun anteninin yaydığı E alanının değişimlerinin teorik ve deneysel sonuçları

gösterilmiştir. KATHREIN türü K-742264 model olan bu antenin yaydığı E alanı literatürde sunulan aynı tür antenler için elde edilmiş sonuçlara benzerdir. Bu benzerlik Şekil 5.27'den de görüldüğü gibi teorik sonuçlarla da iyi bir uyum sağlamaktadır. Görüldüğü gibi uyum hem GSM 900MHz hem de UMTS 2100MHz frekanslarında sağlanmaktadır. Fakat literatürde sunulan bütün bu ölçüm sonuçları, farklı zamanlarda elde edilmiştir, başka bir deyişle ölçümlerde belirli bir zaman gecikmesi oluşmuştur. Bu zaman gecikmesini giderebilmek için referans noktalarda birden fazla sürekli ölçüm sistemi yerleştirmek daha net sonuçların elde edilmesine imkân sağlayacaktır. Dolayısıyla baz istasyonu antenlerinin yaydıkları elektromanyetik alanların E , H ve S değerlerinin ölçümünde sürekli ölçüm sisteminin avantajı bir kez daha kendini göstermektedir. Bu sonuç ise elektromanyetik alanın ortamda yayılmasını değerlendirmek için sürekli ölçüm ve izleme sistemlerinin (örneğin MonitEM) kullanılmasının vazgeçilemeyecek bir gereksinim olduğunu bir kez daha kanıtlamaktadır.



Şekil 5.27. KATHREIN türü antenden yayılan E alan değişimleri: 1- 2100-2700 MHz; 3-900-935 MHz ; Simgeler deneysel ölçüm sonuçları; 2 ve 4 teorik sonuçlar (Eşitlik 5.41).

Sonuç ve Öneriler

Tezin amaç ve kapsamına uygun olarak yapılan çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Hızla artan yüksek frekanslı elektromanyetik ışınım kaynaklarının etkilerini incelemek ve değerlendirmek için anlık ve periyodik ölçümler yeterli değildir, daha net sonuçların elde edilebilmesi için sürekli ölçüm sistemlerinden yararlanmak gerekir. Tez çalışması kapsamında Türkiye’de ilk kez (03.11.2012) elektromanyetik alanları sürekli ölçüm ve izleme istasyonu ile ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, network bağlantıları kurularak İspanya’daki veri merkezine aktarılmıştır. Bu süreç içerisinde Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde elektromanyetik alan kirliliğinin en yoğun olduğu noktalarda, elektromanyetik alanların sürekli ölçümü ve izlenmesi gerçekleştirilmiştir, halen şehrin önemli noktalarında bu ölçümlerin alınmasına devam edilmektedir.

Seçilmiş olan bir pilot bölgede son üç yıllık periyotta (2011-2014) elektromanyetik alan değişimleri ölçülmüş ve uygun periyotlara ait değerlendirilmeler yapılmıştır. 2011 yılında yapılmış olan ölçümlerde 1800MHz frekansında en yüksek elektrik alan seviyesi $E_{max} = 2,94$ [V/m] iken, 2013 yılına gelindiğinde aynı bölgede 1800MHz frekansında $E_{max} = 6,58$ [V/m] olarak ölçülmüştür. Bu artışın esas nedenlerinden biri bu periyotta adı geçen bölgede baz istasyonu sayısındaki %59’luk artış ve iletişim trafiğinin sürekli olarak yükselmesidir.

Yeni yaşam alanlarının oluşturulması, bu alandaki nüfus yoğunluğunun ve bölgedeki baz istasyonu sayısının artması, Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinin yüz ölçümünü kapsayan elektromanyetik alan dağılım bölgelerinin genişlemesine sebep olmuştur. Bu dağılımı görsel olarak değerlendirmek için 2 ve 3 boyutlu EMCM’ler çizilerek elektrik alan şiddeti değerlerinin yüksek olduğu noktalar belirlenmiştir. Bu tür haritalar bölgedeki elektromanyetik alan yoğunluğunun yayılma dinamiğini açık bir şekilde göstermektedir.

Metropol şehirlerde elektromanyetik alan seviyesine etkileyen diğer önemli bir faktör de gün içerisindeki mobil iletişim trafiğinin değişimidir. Günün belirli

saatlerindeki bir baz istasyonuna gelen iletişim talebinin anlık 15.000'in üzerine çıktığı gözlenmiştir. Bu durumda elektrik alan şiddetinin günlük ortalama değeri, 1,5-2 kat artabilir.

Şehir merkezinde ve yakın bölgelerinde elektromanyetik alan kirliliğini oluşturan sinyallerin frekans spektrumu da geniş bir aralık oluşturmaktadır. Yapılan ölçümlere göre 2011 yılında GSM & UMTS frekansındaki alanlar, ortamdaki toplam alanın %65'ini oluştururken; 2013 yılında bu sinyallerin oranı %77'ye yükselmiştir ve ileride daha yüksek seviyelere ulaşacak bir artış trendine sahiptir. 2014 yılında elektrik alan şiddetinin ortalama değerinin, bir önceki yılın aynı dönemine ait elektrik alan şiddetinin ortalama değerinden %63 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu artışların esas nedeni yeni nesil mobil iletişim teknolojilerinin (3G&4G) kullanıcı sayısı ve kullanım süresindeki artışlar olmuştur. 2013 yılı Mayıs ayında 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan istasyona ait ortalama elektrik alan şiddeti değeri $E_{ort} = 2,96$ [V/m], en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max} = 4$ [V/m]'dir. 2014 yılı Mayıs ayında aynı noktada ortalama elektrik alan şiddeti değeri $E_{ort} = 6,16$ [V/m], en yüksek elektrik alan şiddeti değeri $E_{max} = 7,45$ [V/m] olarak ölçülmüştür. Bir yıl içerisinde metropol bir şehirde aynı noktada yapılmış olan sürekli elektromanyetik alan ölçümlerinde; ortamdaki elektrik alanın ortalama değeri %208, maksimum değeri %186 artış göstermiştir.

Farklı çalışma frekanslarında elektromanyetik dalga yayan çok sayıda antenleri içeren bir radyolink sahasında yapılan 5 aylık sürekli ölçüm sonuçlarına göre ölçüm alınan noktadaki elektrik alan şiddeti $E=3.62$ [V/m] değerinden, $E=4.83$ [V/m] değere kadar artış gösterdiği ve bu artışın devam ettiği saptanmıştır.

Yüksek frekanslı elektromanyetik alan yayan sistemlerin, iletişim trafiğinin yoğun olduğu bir tıp merkezinde yapılan çalışmalarda, bu merkezdeki elektromanyetik kirliliğin tıp Merkezinin hem içerisinde yer alan sistemlerden, hem de dışında bulunan baz istasyonlarından kaynaklandığı gözlenmiştir. Elektromanyetik alan seviyesinin artmasında her iki kaynağın (iç ve dış) etkisinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yer yer tıp merkezi içerisindeki elektromanyetik alan seviyesinin, dış kaynakların (baz istasyonları) yaydığı alan seviyesinden daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Yoğun yaşam ve çalışma alanı olan üniversite yerleşkesinde yapılan ölçümler bu alanlardaki yüksek frekanslı elektromanyetik alan seviyelerinin ve iletişim trafiğinin homojen olmayan şekilde yayıldığını göstermiştir. Bu tür bölgelerdeki sürekli ölçüm sistemleri birçok noktalarda konumlandırılabilir. Elde edilen sonuçlar bir merkezi web portalında izlenip, değerlendirilebilir.

Ortamların elektromanyetik kirlilik ve uyum problemleri, çok sayıda parametrelerin etkisiyle belirlenir. Seçilmiş bölgelerdeki baz istasyonlarına, Radyo ve TV istasyonlarına, iletişim trafiğine, abone sayısına, görüşme zamanına, görüşme süresine, nüfus değişimine, ortamın sıcaklık ve nem değişimine vs. bağlı olarak elektromanyetik alanın değişimini ve uyumluluğunu değerlendirmek için lokal bölgelerde yapılan anlık ölçüm yöntemi yeterli değildir. Bu ölçümler, sürekli ölçüm istasyonları (örneğin MonitEM) ile daha hassas bir şekilde yapılarak kontroller sağlanabilir.

Sürekli ölçüm sistemlerinden yararlanarak ölçülen anlık değerler, web tabanlı bir networkle ulusal ve uluslararası veri merkezleri ve kamuoyu ile paylaşılabilir. Böylece sürekli bilgi aktarımı ile elektromanyetik kirliliğin birçok durumlarda akıllarda oluşan soruları ve tartışma yaratan problemleri giderilebilir.

Seçilmiş bir bölgenin iklim değişimlerini de dikkate alarak sürekli ölçüm sonuçları, bölgedeki elektromanyetik alan değişiminin önceden tahminini verebilecek modelini oluşturmaya imkân sağlar. Bu amaçla literatürde sunulan ve mühendislik ve istatistiksel problemlerin incelenmesinde genel imkânlarla sahip olan ANN yöntemi kullanılabilir.

Sürekli ölçüm sistemlerinin etkin olarak kullanılabilmesi için seçilmiş bölgelerde, farklı noktalarda, önceden periyodik ölçümler yapılarak elektromanyetik alan şiddetinin en yüksek olduğu bölgelerin ve noktaların belirlenmesinde yarar vardır. Elektromanyetik alanları sürekli ölçüm ve izleme sistemleri (örneğin MonitEM), bu noktalara konumlandırılmalıdır.

Baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların seviyesinin belirlenmesi ve bu alanın ortama olan maruziyetini değerlendirebilmek için bu alanı oluşturan yüksek frekanslı bileşenlerin spektrumunu da değerlendirmek gerekir.

Elektromanyetik alanları sürekli ölçüm ve izleme sistemlerinden bu amaçla paralel çalışan iki sistem kullanılabilir ve elde edilen sonuçlara göre baskın sinyalin (Radyo, TV, GSM, UMTS) etkisi değerlendirilebilir.

Baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik alanların ortama gösterdikleri maruziyeti; yaydıkları güç yoğunluğunun, antenden olan uzaklığına göre değerlendirilir. Bu amaçla uzak ve yakın alan yaklaşımları kullanılır. Yeni nesil iletişim sistemlerinin sinyalleri (GSM, UMTS) farklı frekanslara sahiptirler ve bu frekanslara ait alanları değerlendirmek için her bir frekansa ait sinyalleri ayrı ayrı ele almak gerekir. Yeni nesil baz istasyonlarında kullanılan anten türleri (örneğin KATHREIN türü) bu sinyallerin tümünü yaymaktadır. Bu durumda bu alanların maruziyeni değerlendirmek için antenden olan yakın ve uzak alan bölgelerinin sınırlarını belirlemek kolay değildir. Buna göre güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimini istatistiksel verilere dayanarak değerlendirmekte yarar vardır. İndirgenmiş empedans yöntemini, göz önünde tutarak yeni nesil baz istasyonları antenlerinin yaydıkları elektromanyetik alan güç yoğunluğunun antenden olan uzaklığa göre değişimini hesaplamak için basit matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu modelin uygulanabilirliğini değerlendirebilmek için elektromanyetik alanların sürekli ölçüm ve izleme sistemlerinin verileri kullanılabilir. Bu durumda teorik ve deneysel sonuçların iyi uyum sağladığı gözlenmiştir.

Yakın gelecekte yeni nesil baz istasyonlarının hızla gelişimi ve uygulama alanının genişlemesiyle, bu alanların etkilerini değerlendirmek için seçilmiş bölgelerde iki, üç ve daha fazla elektromanyetik alanları sürekli ölçüm ve izleme sistemleri eş zamanlı olarak kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar bir merkez veri web portalında değerlendirilerek uluslararası diğer benzer ölçüm ve izleme istasyonlarının verileriyle kıyaslanarak anında değerlendirilip, elektromanyetik uyumluluk açısından kontrolleri sağlanabilir.

Analog yayından, dijital yayına geçiş sürecinden sonra TV frekans bantları mobil iletişim için kullanılacaktır. Bu durumda 2G ve 3G frekanslarında çalışan sistemlere ek 4G sistemlerine geçiş süreci sonrası bu tez çalışmasından elde edilen sürekli ölçüm sonuçları yeni sistemlerin ortama yayacakları elektromanyetik alan seviyelerinin değerlendirmesinde referans olarak kullanılabilir.

Elde edilmiş ölçüm sonuçlarının şimdilik, uluslararası (ICNIRP) ve ulusal (BTK) elektromanyetik alan güvenlik standartlarına göre limit değerlerin altında olduğu belirlenmiştir.

Elektromanyetik alanları sürekli ölçüm ve izleme sistemleri yetkili denetim kurumları (BTK) tarafından takip edilerek belediyeler, sağlık kurumları, elektromanyetik uyumluluk laboratuvarları ve diğer kurum ve kuruluşlar tarafından bağımsız olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Şeker, S. Çerezci, O. (2000). *Radyasyon Kuşatması*. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 189p.
- [2] J. Estenberg, T. Augustsson, *Extensive Frequency Selective Measurements of Radiofrequency Fields in Outdoor Environments Performed with a Novel Mobile Monitoring Systems*. *Bioelectromagnetics*, 35 (2014) 227-230.
- [3] 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: 3 (2014) 263–275.
- [4] T.K. Sarkar, V. Dyab, M.N. Abdallah, et al. *Electromagnetic Macro Modelling of Propagation in Mobile Wireless Communication Theory and Experimental*. *IEEE Antenna and Propagation Magazine*, 54:6 (2012) 17-43.
- [5] BTK Raporu. (2014). http://www.tk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/pazar_verileri/ucaylik14_2.pdf (2. Çeyrek Nisan – Mayıs – Haziran, 2014).
- [6] H. Lai, *Biological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field*, *Encyclopaedia of Biomat. Biomed. Eng*, 10 (2005) 1–8.
- [7] J.T. Rowley, K.H. Jayner, *Comperative international analysis of radiofrequency exposure surveys of mobile communication radio base stations*. *Journal of Exposure Science and Enviromental Epidemiology*, 22 (2012) 304-315.
- [8] 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. Enviromental Medicine*, 61 (2004) 769-772.
- [9] K.K. Kesari, J. Behari, *Effects of microwave at 2.45GHz radiations on reproductive system of male rats*. *Toxicological and Enviromental Chemistry*, 92:6 (2010) 1135-1147.
- [10] B.B. Levitt, H. Lai, *Biological effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays*. *Enviromantal Rev.*, 18 (2010) 365-395.
- [11] 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.
- [12] A. J. Swerdlow, M. Feychting, A. C. Green, L. Kheifets, D. A. Savitz, and International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection Standing Committee on Epidemiology, *Mobile Phones, Brain Tumors, and the Interphone Study: Where Are We Now?*, *Environ Health Perspect*, 119:11 (2011) 1534–1538.
- [13] S. Lagorio, M. Röösli, *Mobile phone use and risk of intracranial tumors*, *Bioelectromagnetics*. 35 (2014) 79-90.
- [14] J.M. Elwood, *Mobile Phones Brain Tumors and the limits of science*, *Bioelectromagnetics*, 35 (2014) 379-383.
- [15] J. Schüz, E. Böhler, G. Berg, B. Schlehofer, et al., (Interphone Study Group, Germany) *Cellular Phones, Cordless Phones, and the Risks of Glioma and Meningioma*, *American Journal of Epidemiology*, 163:6 (2006) 512–520.
- [16] G. Abdel-Rassoul, O. A. El-Fateh, M. A. Salem, et al. *Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations*. *Neurotoxicology*, 28, (2007) 434–440.
- [17] 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*, *Bioelectromagnetic*, 34 (2013) 31-42.

- [18] M. H.Repacholi, A. Lerchl, M. R  sli, 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.
- [19] U. Sorgucu, I. Develi, *Measurements and analysis of electromagnetic pollution generated by GSM-900 mobile phone networks in Erciyes University, Turkey*, Electromagnetic Biology and Medicine, 31:4 (2012) 404-415.
- [20] M. A. Kılıç, O.  erezci,  .  evik, T. Kalkan, *CerrahpaŐa Tıp Fak ltesinin Elektromanyetik Alan Haritası*, EMANET 2011, 1 (2011) 247-250.
- [21] L. Seyfi, *Measurement of electromagnetic radiation with respect to the hours and days of a week at 100kHz–3GHz frequency band in a turkish dwelling*, Measurement, 46 (2013) 3002–3009.
- [22] O. Sukru, *Evaluation and Measurement of Magnetic Field Exposure at a Typical High Voltage Substation and Its Power Lines*, Radiation Protection Dosimetry, 128:2 (2008) 198-205.
- [23] S. Helhel, S. Ozen, B. I. Bahadır, O. Kurnaz, Y. E. Yoruk, M. Bitirgan, Z.  olak, *Radiation Susceptibility of Medical Equipments in Health Care Units: 2G and 3G Mobile Phones as an Interferer*, Microwave and Optical Technology Letters, 53:11 (2011) 2657-2667.
- [24] S. Ozen, S. Helhel, O. H. Colak, *Electromagnetic Field Measurements of Radiaton Transmitters in Urban Area Exposure Analysis*, Microwave and Optical Technology Letters, 49:7 (2007) 1572-1578.
- [25] T. Karadag, T. Abbasov, M. Karadag Otlu, *Measuring, Evaluating, and Mapping the Electromagnetic Field Levels in Turgut Ozal Medical Center Building and Environment*, Journal of Turgut Ozal Medical Center, 21:3 (2014) 181-185.
- [26] T. Karadag, A.R.  zdemir, T. Abbasov, *Longterm Electromagnetic Field Measurements and Pollution Maps in A University Campus*, PAJES, DOI: 10.5505/pajes.2014.78941.
- [27] T. Karadag, A.R.  zdemir, T. Abbasov, *Seilmis Bir Pilot Bölgede Uzun Süreli ve Sürekli Elektromanyetik Kirlilik Seviyelerinin  l lmesi ve Haritalanması*, GU J Sci Part:C, 2:3 (2014) 239-246.
- [28] Karadag, T., Abbasov, T., Karaca E., (2014). High Frequency Electromagnetic Fields’s Continuous Measurements & Monitoring with MonitEM. (pp:197-201) *10th International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering ICTPE*, 7-8 September 2014, Bak , Azerbaycan.
- [29] Karadag, T., Abbasov, T., (2013). Elektromanyetik Alanların MONITEM Sistemi ile Sürekli  l lmesi ve İzlenmesi. 2. *Ulusal Elektromanyetik Uyumluluk Konferansı IŞık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*.
http://www.isikun.edu.tr/i/content/6003_1_LS-EMC-2013-%20PROGRAM.pdf
- [30] Karadag, T.,  zdemir, T., Abbasov, T., (2014) *Metropol Bir Şehirde GSM & UMTS Frekanslarındaki Elektrik Alanların Uzun Süreli  l m , Sonuçların Ortam Sıcaklığı ve Nem Değişimini ile İlişkisinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. VII. URSI- Türkiye Bilimsel Kongresi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye*.
http://www.ursi.org.tr/2014-Kongre/bildiriler/TAM_91.pdf
- [31] Karadag, T.,  zdemir, T., Abbasov, T., (2014) *Bir Radyolink İstasyonunda Yüksek Frekanslı Elektrik Alanların Uzun Süreli  l m, Sonuçların Ortam Sıcaklığı ve Nem Değişimini ile İlişkisinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. VII. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye*.
http://www.ursi.org.tr/2014-Kongre/bildiriler/TAM_90.pdf

- [32] Karadag, T., Özdemir, A. R., Abbasov, T., (2013). İnönü Üniversitesi Yerleşkesinde Dönemsel Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Değerleri ve Haritaları (pp: 336-341). *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE.*
- [33] Karadag, T., Abbasov, T., (2013). Bir Üniversite Hastanesi Binası ve Çevresinde Elektromanyetik Alan Ölçümleri (pp: 342-348). *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE.*
- [34] Karadag, T., Abbasov, T., (2013). Malatya Şehir Merkezi ve Yakın Bölgelerinde Uzun Süreli Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Çalışmaları ve Haritaları (pp: 349-353). *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE.*
- [35] Karadag, T., Abbasov, T., (2013). Telekomünikasyon Binası ve Radyolink İstasyonunda Elektromanyetik Alan Ölçümleri (pp: 354-358). *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE.*
- [36] *Elektromanyetik Kirlilik Nedir?* (2013)
<http://iletisim.turktelekom.com.tr/PortalOfis/ebultenler/VERIMDEGISIM/Sayi22/flipvviewerxpress.html>. (Verim ve Değişim E-bülten. 22 (2013) 2-7).
- [37] Ulaby, F. T. (2001). *Fundamentals of Applied Electromagnetics*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, NJ, USA.
- [38] H. P. Hutter, H. Moshammer, P. Wallner, et al., *Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations*. *Occupation Environment Med.* 63 (2006) 307–313.
- [39] H. Lai, (2014). *Genetic Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Fields Review* Bioinitiative Working Group, University of Washington Seattle, WA USA.
- [40] A. L. Galeev, *The effects of microwave radiation from mobile telephones on humans and animals*, *Neurosci. Behav. Physiol*, 30 (2000) 187–194.
- [41] J. C. Lin, *Are Radio Frequency or Cell Phone Fields Possibly Carcinogenic to Humans? [Health Effects]*, *Microwave Magazine, IEEE*, 13:4 (2012) 30-32.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] A. Balmori, *Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife.*, *Pathophysiology*, 16 (2009) 191–199.
- [47] 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.
- [48] B. Jitendra, *Biological responses of mobile phone frequency exposure review article*. *Indian Journal of Experimental Biology*. 48 (2010) 959-981.

- [49] M. Blank, R. Goodman, *DNA is a fractal antenna in electromagnetic fields*, Int J Radiat Biol, 87:4 (2011) 1–7.
- [50] 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.
- [51] 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.
- [52] 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.
- [53] B.M. Wang, H. Lai, *Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats*. Bioelectromagnetics, 21:1 (2000) 52-56.
- [54] S. Kemerov, M. Marinkev, D. Getova, *Effects of low-intensity electromagnetic fields on behavioral activity of rats*, Folia Med. no, 41 (1999) 75–80.
- [55] WR. 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.
- [56] 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.
- [57] 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.
- [58] 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.
- [59] T. Wu, Q. Shao, *A Large-Scale Measurement Of Electromagnetic Fields Near GSM Base Stations in Guangxi, China for Risk Communication*, Radiation Protection Dosimetry, 155:1 (2012) 25–31.
- [60] A. Manassas, A. Boursianis, T. Samaras, J. N. Sahalos, *Continuous Electromagnetic Radiation Monitoring in The Environment: Analysis of The Results in Greece*, Radiation Protection Dosimetry, 151: 3 (2011) 437–442.
- [61] Jin, J. (1993). *The Finite Element Method in Electromagnetics*. John Wiley and Sons, New York, USA, 743p.
- [62] N.F. Nielsen, T. Schneider, *Particle Deposition into a Human Head: Influence of Electrostatic and Wind Fields*. Bioelectromagnetics, 19 (1998) 246-258.
- [63] D. Poljak, C.A. Brebbia, *Indirect galerkin-bubnov boundary element method for solving integral equations in electromagnetics*. Engineerin Analysis with Boundary Elements, 28 (2004) 771-777.
- [64] O.P. Gandhi, J.Y. Chen, *Electromagnetic absorbtion in the human head from experimental 6GHz handled transceivers*. IEEE, Trans. Electromang. Compat, 37: 4 (1995) 547-558.
- [65] 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.

- [66] 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.
- [67] Poljak D. (2007). *EMC advanced modeling in computational electromagnetic compatibility*. John Wiley and Sons, New York, USA, 496p.
- [68] S. Mezoued, B. Nekhoul, 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.
- [69] H.Y. Chen, T.Y. Su, J.Y. Jhuang, *Electric fiel radiation from celluar phone base station antenna*, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium* (2008) 1-4. DOI:10.1109/APS.2008.4619605.
- [70] Haykin, S. (1998). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA, 842p.
- [71] Golden, R.M., (1996). *Mathematical Methods for Neural Network Analysis and Design*. MIT Press Cambridge: MA, USA, 432p.
- [72] 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.
- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] M. Yuceer, *Artificial neural network models for HFCS isomerization process*, *Neural Comput & Applic.*, 19:7 (2010) 979-986.
- [76] H. Kabir, Y. Cao, Q. Zhang, *Advances of Neural Network Modeling Methods for RF/Microwave Applications*, *ACES Journal*, 25:5 (2010) 423-432.
- [77] 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.
- [78] F. Troisi, M. Boumis, P. Grazioso, *The Italian national electromagnetic field monitoring network*. *Ann. Telecommun.* 63 (2008) 97-108.
- [79] A. Gotsis, N. Papanikolaou, D. Komnakos, A. Yalofas, P. Constantinou. *Non-ionizing electromagnetic radiation monitoring in Greece*. *Ann. Telecommun.* 63: (2008) 109-123.
- [80] M. Lindgren, M. Gustavsson, Y. Hamnerius, S. Galt, *ELF Magnetic Fields in a Cint Environment*. *Bioelectromagnetics.* 22 (2001) 87-90.
- [81] Ö. Genç, M. Bayrak, E. Yaldiz, *Analysis of the Electromagnetic Pollution for a Pilot Region in Turkey*. *J. Electromagnetic Analysis & Applications.* 2 (2010) 139-144.
- [82] J. Tomitsch, E. Dechant, *Trends in Residential Exposure to Electromagnetic Fields from 2006 to 2009*. *Radiation Protection Dosimetry* 149:4 (2012) 384-391.
- [83] F. Khan, Z. Pi, S. Rajagopal, *Millimeter-wave Mobile Broadband with Large Scale Spatial Processing for 5G Mobile Communication*, *IEEE Communication, Control, and Computing (Allerton)*, 2012 50th Annual Allerton Conference, (2012) 1517-1523.
- [84] Samsung Tomorrow. (2013) <http://global.samsungtomorrow.com/?p=24093> (May 13, 2013).
- [85] Trzaska, H. (2001). *Electromagnetic Field Measurements in the Near Field*. Noble Publishing Corporation, New York, USA, 230p.

- [86] T. Dlugosz, H. Trzaska, *How to measure in the near field and in the far field*, Communication and Network, 2 (2010) 65-68.
- [87] ETSI (1997). Avrupa ülkelerinde GSM baz istasyonları için uygulanan standartlar. European Telecommunication Standardization Institute <http://www.etsi.org/standards/looking-for-an-etsi-standard/list-of-harmonized-standards>
- [88] FCC (1934). Amerika Birleşik devletlerinde GSM baz istasyonları için uygulanan Federal Communications Commission tarafından belirlenmiştir. <http://www.fcc.gov>
- [89]IEEE (1999) Standart for safety Levels with Respect to Human Exposure to RF Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz, IEEE Std. C95.1.
- [90]ICNRP (1998) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz), Health Physics 74(4), 494-522.
- [91]BTK (2000) Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu <http://tk.gov.tr/mevzuat/yonetmelikler/dosyalar/ehc.pdf>
- [92] Edminister, J. (2000). *Elektromanyetik Teori ve Problemler*. Nobel, Ankara, Türkiye, 329p.
- [93] Balanis, C.A. (2005). *Antenna Theory – Analysis and Design*. John Wiley and Sons, New York, USA, 1047p.
- [94] Z. Tang, Q. Wang, Z. Ji, et all., *Prediction and Measurement of the Electromagnetic Environment of High - Power Medium-Wave and Short-Wave Broadcast Antennas in Far Field*, Radiation Protection Dosimetry, 18 (2014) 1-9. DOI:10.1093/rpd/ncu017.
- [95] K. Daikoku, H. Ohdate, Optimal design for cellular mobile systems IEEE Trans on Vehicular Technology. 34:1 (1985) 3-12.
- [96] J. Wiart, C. Dale, A.V. Bosisio, A. Le Cornec, *Analysis of the influence of the power control and discontinuous transmission on RF exposure with GSM mobile phones*. IEEE Trans Electromagn Compat, 42:4 (2000) 376–384.
- [97] J.B. Andersen, P.E. Mogensen, G.F. Pedersen, *Power variations of wireless communication systems*, Bioelektromagnetics, 31:4 (2010) 302-310.
- [98] L.S. Enderich, M.D. Van Kerkhove, C.G. Scrafford, L. Barraaj, et all. *Factors that influence the radiofrequency power output of GSM mobile phones*. Radiot Res., 168:2 (2007) 253-261.
- [99] T. Dlugosz, H. Trzaska, *Non stationary electromagnetic field measurements accurase improment*. Enviromentalist, 31 (2011) 130-133.
- [100] D.H. Kim, D.D. Lee, H.J. Kim, K.Ch. Whang, *Capacity Analysis of Micro/Microcellular CDMA with power ratio control and Tilted Antenna*, IEEE Trans. Vehicular Technology, 49:1 (2000) 34-42.
- [101] 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.
- [102] Miho, R., Kamo, B., *Estimation Theoretical evaluation of the E-M radiation field in the vicinities of GSM 900 and GSM 1800 antennas*. VNM report for GSM 900 and GSM 1800 DET, FTI Tirana 2008.
- [103] Jordan, E.C. Balmain, K.G. (1968). *Electromagnetic Waves and Radiating Systems*, Englewood Cliffs, NJ, USA. 753p.
- [104] 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.

- [105] Weeks, W.L. (1964). *Electromagnetic Theory for Engineering Applications*, John Wiley and Sons, New York, USA, 744p.
- [106] Schelkunoff, S.A. (1952). *Advanced Antenna Theory*, John Wiley and Sons, New York, USA, 216p.
- [107] 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.
- [108] S. Miclaus, P. Bechet, *Estimated and Measured Values of The Radiofrequency Radiation Power Density Around Cellular Base Stations*, Rom. J. Jern. Phys, 52:3-4 (2007) 429-440.
- [109] A.T. Adams, E. Mendelovicz. *The Near-Field Polarization Ellipse*, IEEE Trans. Antennas Propag, 21:1 (1973) 124-126.
- [110] A.T. Adams, B. J. Strait, D.E. Warren, K.Dah-Cheng, T.E Baldwin, *Near fields of wire antennas by matrix methods*. IEEE Trans. Antennas Propagat.AP. 21:5 (1973) 602-610.
- [111] D.E. Warren, T.E. Baldwin, A.T. Adams, *Near electric and magnetic fields of wire antennas*, Antennas and Propagation, IEEE Transactions, 22:2 (1974) 364.
- [112] A.T. Adams, T.E. Baldwin, D.E. Warren, *Near Fields of Thin-Wire Antennas- Computation and Experiment*, IEEE Trans. Electromagnetic Comput. EMC., 20:1(1978) 259-266.
- [113] ITU.(2011). <http://www.itu.int/rec/T-REC-K.83-201103-I>)Monitoring of electromagnetic field levels).
- [114] Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık Eğitim, 232P.
- [115] Sağroğlu Ş. Beşdok, E. Erler M. (2003). *Mühendislikte YAPAY ZEKA Uygulamaları - I (Yapay Sinir Ağları)*. Ufuk Yayıncılık, 426p.
- [116] Ş. S. Şeker, O. Çerezci, *A simulation study of the cloud propagation model*, J. PHYS. D: Appl. Phys., 32 (1999) 552-562.
- [117] G. Brussard, *A meteorological model for rain induced cross polarization*. IEEE Trans. Antennas Propag, 24 (1976) 5-11.
- [118] T. Yamaguchi, Y. Okumura, Y. Amemiya, *Wave Impedans in the Near Field around the fundamental Electromagnetic radiating elements*, Electronics and Communication in Japan Part 1, 74:4 (1991)86-94.
- [119] S.L. O'Young, R. Goldman, L. Jorgensen, *Survey of techniques for measuring RF shielding enclosures*, IEEE Trans, Electromagn. Compatibility EMC, 10:1 (1968) 72-81.
- [120] Tr. Shelknoff, Y. Moriwaki, *Electromagnetic Theory*, Iwanami Publ. 393 (1972) 254-334.
- [121] Dragan, P., Kovac, A., *Simplified Electromagnetic – Thermal Analysis of Human Exposure to Radiation from Base Station Antennas*. AUTOMATIKA. 45:1-2 (2004) 11-17.
- [122] A. Faraone, T. Roger Yew-Siow, K.H. Joyner, Q. Balzano, *Estimation of the average power density in the vicinity of cellular base-station collinear array*, IEEE Trans. On Vehicular Technology, 49:3 (2000) 984-996.
- [123] R. Cicchetti, A. Faraone, *Estimation of the Peak Power Density in the Vicinity of Celluar and Radio Base Station Antennas*, IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 46:2 (2004) 275-289.
- [124] R. Cicchetti, A. Faraone, Q. Balzano, *Uniform Asymptotik Evaluation of the Field Radiated from Collinear Array Antennas*, IEEE Trans on Antennas and Propagation, 51:1 (2003), 89-102.

- [125] M.T. Islam, H.Z. Abidin, M.R.I. Faruque, N. Misran. Analysis of materials effects on radio frequency electromagnetic fields in human head. *PIERS*. 128 (2012) 121-136.
- [126] W.G. Fano, C.G. Esciva, Near field characteristics of MF Monopole with a parasitic, *PIER Letters*. 5 (2008) 175-186.
- [127] P. Baltreans, R. Buckus S. Vasarevicius, *Research and evaluation of the intensity parameters of electromagnetic fields produced by mobile communication antennas*, *Journal of Enviromantal Engineering and Landscape Management*, 20:4 (2012) 273-284.
- [128] P. Baltrenas, R. Buckus, *Measurements and analysis of the electromagnetic fields of mobile communication antenna*, *Measurement*, 46 (2013) 3942-3949.
- [129] Q.Q. He, W. Ch. Yang, Y.X. Hu, *Acurate Methods to Estimate EM Radiation from a GSM Base Station*, *PIER M*, 34 (2014) 19-27.
- [130] M. Bizzi, P. Gianola, *Electromagnetic Fields Radiated by GSM Antennas*, *Electronics Letters* 35:11 (1999) 855-856.
- [131] A. Kaswowski, Comparison of simple models for predicting radiofrequency field in vicinity of base station antennas, *Electronics Letters* 36:10 (2000) 859-861.

Ekler:

EK 1. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nun, Talep Edilen İletişim Trafik Değerlerinin Temin Edilmesine Yönelik Yazısı



T.C.
BİLGİ TEKNOLOJİLERİ ve İLETİŞİM KURUMU
Spektrum İzleme Dairesi Başkanlığı



Sayı : 62323540-303.99/2371
Konu : Tez çalışması

09.01.2014

Sayın TEOMAN KARADAĞA
İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığı

İlgi : 31.12.2013 tarihli 1341 sayılı yazı.

İlgi yazıda Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV'un danışmanlığını yaptığı doktora öğrencisi Teoman KARADAĞ'ın doktora çalışmalarında kullanılmak üzere 06.11.2012 - 11.06.2013 tarihleri arasındaki Malatya şehir merkezi, merkez postane çevresindeki ve 12.06.2013 - 08.07.2013 tarihleri arasında İnönü Üniversitesi Turgut Özal Tıp Merkezi bölgesindeki baz istasyonlarının üç işletmeciyeye ait saatlik bazda Erlang bilgilerine ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir.

Kurumumuza işletmeciler tarafından yapılan bildirimler arasında yer alan Erlang değerleri, nüfusu 10 000 (onbin) ve üzeri olan yerleşim yerlerine hizmet veren tüm baz istasyonlarının aylık ortalamasına karşılık gelmektedir. Bu gerekçeyle, anılan yerleşim yerlerine hizmet veren baz istasyonlarına ait saatlik bazda Erlang bilgilerinin işletmecilerden elde edilebileceği değerlendirilmekte olup, Malatya ili merkez ilçesi ile 10 000 ve üzeri nüfusa sahip ilçeleri için işletmeciler tarafından Kurumumuza yapılan bildirimlerden 2013 yılı Haziran ayı bilgileri Ek'te gönderilmektedir.

Bilgilerinizi rica ederim.

Necati UĞURLU
Daire Başkanı

Ek :
Erlang Değerleri

Güvenli Elektronik
İmzalı Aslı ile Aynıdır.
10.01.2014

Adnan ÇAĞLAYANKAYA
Memur

Not: 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununa gereği bu belge elektronik imza ile imzalanmıştır.

Bilgi Teknolojileri Ve İletişim Kurumu
Yeşilirmak Sokak No:16 06430 Demirtepe/Ankara
Tel: 0 312 294 72 00 Faks: 0 312 294 71 45

Ayrıntılı bilgi için:
A.R.ÖZDEMİR
Bilgi Uzmanı

EK 2. Matlab kodları

ANN Modelleme Dosyası “model 1 ann file.m”

```
clear all
clc
%Ay Gün Saat (UTC) Ort. Sicaklık (°C) Nem (%) Elektrik Alan V/m
%% Randomize olarak daha onceden ikiye bolunmus verilerin [Egitim(%70) ve Test
(%30)] yuklenmesi
load data_model_1
p=P';
t=T';
%% Verilerin standardizasyonu
[pn,ps1] = mapstd(p);
[ptrans,ps2] = processpca(pn,0.05);
[tn,ts] = mapstd(t);
%% Ag Yapisi
net = newff(minmax(ptrans),[6 20 1],{'logsig','logsig','purelin'},'trainbr');
net.trainparam.show=50; % iterasyonun grafik üzerinde gösterilmesi
net.trainparam.epochs=1000; % Maximum iterasyon sayisi
net.trainparam.goal=0.010;%ulaşılmak istenen min hata
%% Agin Egitimi
net = train(net,ptrans,tn);
an = sim(net,ptrans);
a = mapstd('reverse',an,ts);
[m,b,r] = postreg(a,t);
%% Grafikler ve Istatistiksel hesaplamalar
plot([1:length(a)],t,'r->', [1:length(a)],a,'g-*')
MaxErr_e=max(abs(t-a))
Ra_e=corrcoef(a,t)
R_e=Ra_e(1,2);
Rsquare_e=R_e^2
MAPE_e=errperf(a,t,'mape')
p1=P1';
t1=T1';
[p2n1] = mapstd('apply',p1,ps1);
[p2trans1]=processpca('apply',p2n1,ps2);
an1 = sim(net,p2trans1);
a1 = mapstd('reverse',an1,ts);
[m1,b1,r1] = postreg(a1,t1);
plot([1:length(a1)],t1,'r->', [1:length(a1)],a1,'b-o')
MaxErr_t=max(abs(t1-a1))
Ra_t=corrcoef(a1,t1)
R_t=Ra_t(1,2);
Rsquare_t=R_t^2
MAPE_t=errperf(a1,t1,'mape')
```

ANN Simülasyon Dosyası “model 1 simulation file.m”

```
clear all
clc
%% Randomize olarak daha önceden ikiye bölünmü? verilerin [E?itim(%70) ve Test
(%30)] yüklenmesi
load data_model_1
p=P';
t=T';
%% Verilerin standardize edilmesi
[pn,ps1] = mapstd(p);
[ptrans,ps2] = processpca(pn,0.05);
[tn,ts] = mapstd(t);
%% Agin (ANN) yüklenen ve standardize edilen verilerle simülasyonu
%% Standardize i?leminin tersi ile gerçek de?erlere dönülmesi
an = sim(net,ptrans);
a = mapstd('reverse',an,ts);
[m,b,r] = postreg(a,t);
%% Grafik Bölümü
X1=1:length(a);
YMatrix1=[t' a'];
% Create figure
figure1 = figure('Color',[1 1 1]);
% Create axes
axes1 = axes('Parent',figure1,'FontSize',16);
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');
% Create multiple lines using matrix input to plot
plot1 = plot(X1,YMatrix1,'Parent',axes1,'LineWidth',2);
set(plot1(1),'Color',[1 0 0],'DisplayName','Model (ANN)');
set(plot1(2),'Color',[0 0 1],'DisplayName','Experimental');
% Create xlabel
xlabel({'Number of Samples'},'FontSize',16);
% Create ylabel
ylabel({'Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
% Create legend
legend(axes1,'show');
pause
%%
X3=0:0.1:3;
X4=t;
Y4=a;
figure3 = figure('Color',[1 1 1]);
% Create axes
axes3 = axes('Parent',figure3,'FontSize',16);
box(axes3,'on');
hold(axes3,'all');
% Create xlabel
xlabel({'Experimental Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
```

```

% Create ylabel
ylabel({'Predicted Electric Field [V/m]'},FontSize,16);
% Create plot
plot(X3,X3,'LineWidth',2);
% Create plot
plot(X4,Y4,'MarkerFaceColor',[1 0 0],'Marker','square','LineStyle','none');
pause
%% ISTATISTIKSEL HESAPLAMALAR ILE MODEL BASARISININ
BULUNMASI (EG?T?M VERILERI)
MaxErr_e=max(abs(t-a))
Ra_e=corrcoef(a,t)
R_e=Ra_e(1,2);
Rsquare_e=R_e^2
MAPE_e=errperf(a,t,'mape')
RMSE_e=errperf(a,t,'rmse')
p1=P1';
t1=T1';
[p2n1] = mapstd('apply',p1,ps1);
    [p2trans1]=processpca('apply',p2n1,ps2);
        an1 = sim(net,p2trans1);
            a1 = mapstd('reverse',an1,ts);
                [m1,b1,r1] = postreg(a1,t1);
%plot([1:length(a1)],t1,'r->',[1:length(a1)],a1,'b-o')
%%
X2=1:length(a1);
YMatrix2=[t1' a1'];
% Create figure
figure2 = figure('Color',[1 1 1]);
% Create axes
axes2 = axes('Parent',figure2,'FontSize',16);
box(axes2,'on');
hold(axes2,'all');
% Create multiple lines using matrix input to plot
plot2 = plot(X2,YMatrix2,'Parent',axes2,'LineWidth',2);
set(plot2(1),'Color',[1 0 0],'DisplayName','Model (ANN)');
set(plot2(2),'Color',[0 0 1],'DisplayName','Experimental');
% Create xlabel
xlabel({'Number of Samples'},FontSize,16);
% Create ylabel
ylabel({'Electric Field [V/m]'},FontSize,16);
% Create legend
legend(axes2,'show');
pause
%%
%%
X5=0:0.1:3;
X6=t1';
Y6=a1';
figure4 = figure('Color',[1 1 1]);

```

```

% Create axes
axes5 = axes('Parent',figure4,'FontSize',16);
box(axes5,'on');
hold(axes5,'all');
% Create xlabel
xlabel({'Experimental Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
% Create ylabel
ylabel({'Predicted Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
% Create plot
plot(X5,X5,'LineWidth',2);
% Create plot
plot(X6,Y6,'MarkerFaceColor',[1 0 0],'Marker','square','LineStyle','none');
%%
%% ISTATISTIKSEL HESAPLAMALAR ILE MODEL BASARISININ
BULUNMASI (TEST VERILERI)
MaxErr_t=max(abs(t1-a1))
Ra_t=corrcoef(a1,t1)
R_t=Ra_t(1,2);
Rsquare_t=R_t^2
MAPE_t=errperf(a1,t1,'mape')
RMSE_t=errperf(a1,t1,'rmse')

```

MLSR Model ve Simülasyon Dosyası “model 1_mlsr.m”

```

%% MLSR MODELİ
clear all
clc
%% Randomize olarak daha önceden ikiye bölünmüş verilerin [Egitim(%70) ve Test
(%30)] yuklenmesi

load data_model_1
Pa=[ones(length(T),1)];
Pu=[Pa P];
[b,bint,r] = mvregress(Pu,T);
t=T;
%% Katsayılar Matrisi
aa=b(1)+b(2)*P(:,1)+b(3)*P(:,2)+b(4)*P(:,3)+b(5)*P(:,4)+b(6)*P(:,5)+b(7)*P(:,6);
display('katsayilar')
b
a=aa';
%% Istatistiksel Hesaplamalar
MaxErr_e=max(abs(t-a))
Ra_e=corrcoef(a,t)
R_e=Ra_e(1,2);
Rsquare_e=R_e^2
MAPE_e=errperf(a,t,'mape')
RMSE_e=errperf(a,t,'rmse')
%% Grafikler
X1=1:length(a);
YMatrix1=[t' a'];

```

```

% Create figure
figure1 = figure('Color',[1 1 1]);
% Create axes
axes1 = axes('Parent',figure1,'FontSize',16);
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');
% Create multiple lines using matrix input to plot
plot1 = plot(X1,YMatrix1,'Parent',axes1,'LineWidth',2);
set(plot1(1),'Color',[1 0 0],'DisplayName','Model (ANN)');
set(plot1(2),'Color',[0 0 1],'DisplayName','Experimental');
% Create xlabel
xlabel({'Number of Samples'},'FontSize',16);
% Create ylabel
ylabel({'Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
% Create legend
legend(axes1,'show');
pause
%%
X3=0:0.1:3;
X4=t;
Y4=a;
figure3 = figure('Color',[1 1 1]);
% Create axes
axes3 = axes('Parent',figure3,'FontSize',16);
box(axes3,'on');
hold(axes3,'all');
% Create xlabel
xlabel({'Experimental Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
% Create ylabel
ylabel({'Predicted Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
% Create plot
plot(X3,X3,'LineWidth',2);
% Create plot
plot(X4,Y4,'MarkerFaceColor',[1 0 0],'Marker','square','LineStyle','none');
pause
%%
pause
%% TEST BOLUMU (Test verileri ile daha once bulunan katsayilar yardimiyla
simulasyon)
p1=P1';
t1=T1';
aa1=b(1)+b(2)*P1(:,1)+b(3)*P1(:,2)+b(4)*P1(:,3)+b(5)*P1(:,4)+b(6)*P1(:,5)+b(7)*
P1(:,6);
a1=aa1';
%% Istatistiksel Hesaplamalar
MaxErr_t=max(abs(t1-a1))
Ra_t=corrcoef(a1,t1)
R_t=Ra_t(1,2);
Rsquare_t=R_t^2
MAPE_t=errperf(a1,t1,'mape')

```

```

RMSE_t=errperf(a1,t1,'rmse')
%% Grafikler (Egitim)
X2=1:length(a1);
YMatrix2=[t1' a1'];
% Create figure
figure2 = figure('Color',[1 1 1]);
% Create axes
axes2 = axes('Parent',figure2,'FontSize',16);
box(axes2,'on');
hold(axes2,'all');
% Create multiple lines using matrix input to plot
plot2 = plot(X2,YMatrix2,'Parent',axes2,'LineWidth',2);
set(plot2(1),'Color',[1 0 0],'DisplayName','Model (ANN)');
set(plot2(2),'Color',[0 0 1],'DisplayName','Experimental');
% Create xlabel
xlabel({'Number of Samples'},'FontSize',16);
% Create ylabel
ylabel({'Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
% Create legend
legend(axes2,'show');
pause
%% Grafikler (Test)
X5=0:0.1:3;
X6=t1';
Y6=a1';
figure4 = figure('Color',[1 1 1]);
% Create axes
axes5 = axes('Parent',figure4,'FontSize',16);
box(axes5,'on');
hold(axes5,'all');
% Create xlabel
xlabel({'Experimental Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
% Create ylabel
ylabel({'Predicted Electric Field [V/m]'},'FontSize',16);
% Create plot
plot(X5,X5,'LineWidth',2);
% Create plot
plot(X6,Y6,'MarkerFaceColor',[1 0 0],'Marker','square','LineStyle','none');

```

İstatistiksel hesap yapan fonksiyon dosyası “errperf.m”

```

%% İstatistiksel hesaplamalari yapan dosya
function V=errperf(T,P,M)
a: absolute
e: error(s)
M: METRIC
m: mean
P: PREDICTIONS
p: percentage
r: relative (if before e)

```

```

r: square root (if before m)
s: squared
T: TARGETS
V: VALUE(S)
e
|
|-ae-mae
|
|-se-mse-rmse
|
|-re-pe
| |
| |-ape-mape
| |
| |-spe-mspe-rmspe
|
|-are-mare
|
|-sre-msre-rmsre
% }
%% Check MATLAB version

if datenum(version('-date'))<datenum('29-Jan-2007')
    error(['The MATLAB version in use is ',version('-release'),'. ',...
        'This function requires at least version 2007a.'])
end
%% Parse and validate input
Inputs=inputParser;
Inputs.addRequired('T',@(x) isnumeric(x) && ndims(x)==2 && ...
    (size(x,1)==1 || size(x,2)==1));
Inputs.addRequired('P',@(x) isnumeric(x) && ndims(x)==2 && ...
    (size(x,1)==1 || size(x,2)==1));
Inputs.addRequired('M',@(x) ischar(x) && ~isempty(x));
Inputs.parse(T,P,M);
clear Inputs
assert(isequal(size(T),size(P)),'T and P must have the same size.')
%% Transform input
M=lower(M);
%% Compute metric
switch M
% Errors
case 'e'
    V=T-P;
    % Absolute errors
case 'ae'
    Ve=errperf(T,P,'e');
    V=abs(Ve);
    % Mean absolute error
case 'mae'

```

```

Vae=errperf(T,P,'ae');
V=mean(Vae);
% Squared errors
case 'se'
Ve=errperf(T,P,'e');
V=Ve.^2;
% Mean squared error
case 'mse'
Vse=errperf(T,P,'se');
V=mean(Vse);
% Root mean squared error
case 'rmse'
Vmse=errperf(T,P,'mse');
V=sqrt(Vmse);
% Relative errors
case 're'
assert(all(T),'All elements of T must be nonzero.')
Ve=errperf(T,P,'e');
V=Ve./T;
% Absolute relative errors
case 'are'
Vre=errperf(T,P,'re');
V=abs(Vre);
% Mean absolute relative error
case 'mare'
Vare=errperf(T,P,'are');
V=mean(Vare);
% Squared relative errors
case 'sre'
Vre=errperf(T,P,'re');
V=Vre.^2;
% Mean squared relative error
case 'msre'
Vsre=errperf(T,P,'sre');
V=mean(Vsre);
% Root mean squared relative error
case 'rmsre'
Vmsre=errperf(T,P,'msre');
V=sqrt(Vmsre);
% Percentage errors
case 'pe'
Vre=errperf(T,P,'re');
V=Vre*100;
% Absolute percentage errors
case 'ape'
Vpe=errperf(T,P,'pe');
V=abs(Vpe);
% Mean absolute percentage error
case 'mape'

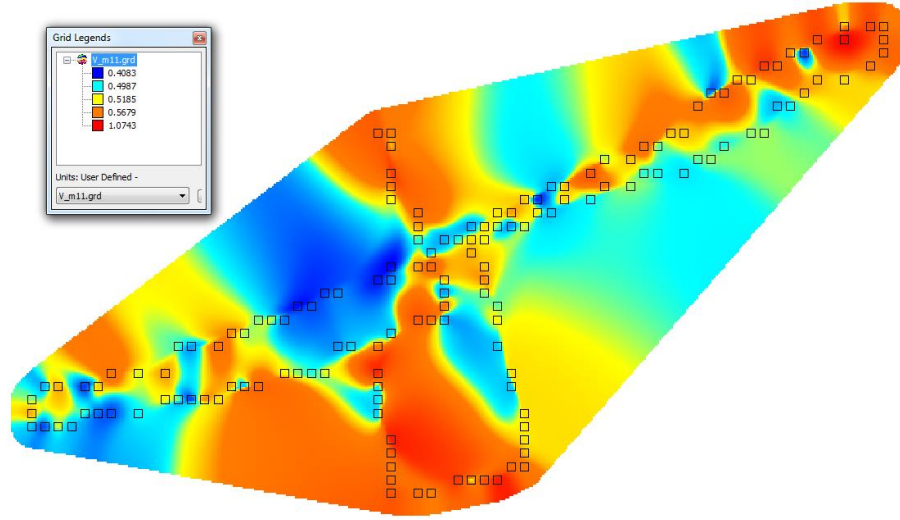
```

```

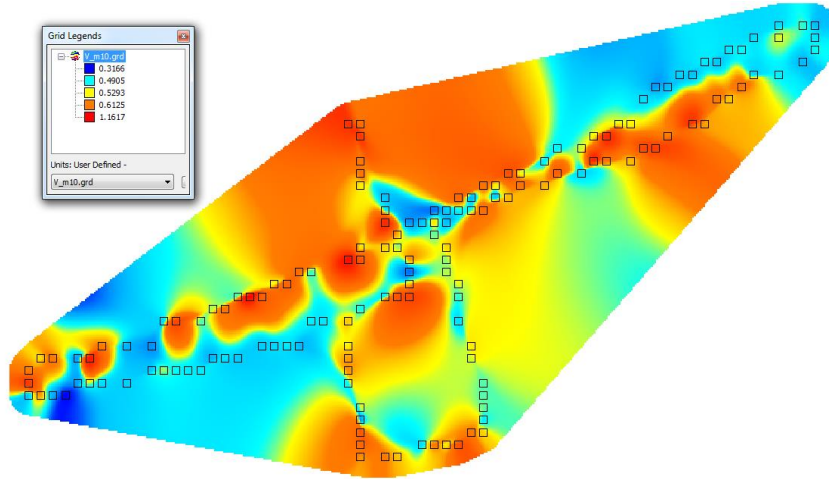
Vape=errperf(T,P,'ape');
V=mean(Vape);
% Squared percentage errors
case 'spe'
    Vpe=errperf(T,P,'pe');
    V=Vpe.^2;
    % Mean squared percentage error
case 'mspe'
    Vspe=errperf(T,P,'spe');
    V=mean(Vspe);
    % Root mean squared percentage error
case 'rmspe'
    Vmspe=errperf(T,P,'mspe');
    V=sqrt(Vmspe);
otherwise
    error('M is invalid.')
end

```

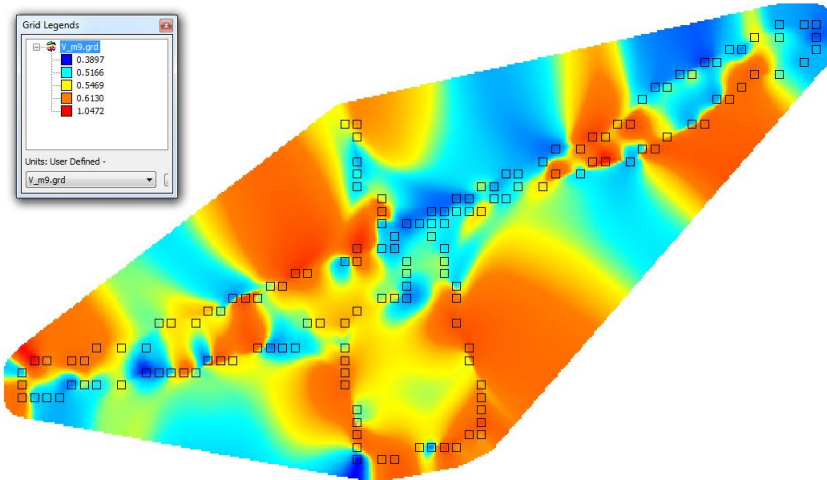
EK 3. Turgut Özal Tıp Merkezi Kat Bazlı Elektrik Alan Şiddeti Uyumluluk Haritaları



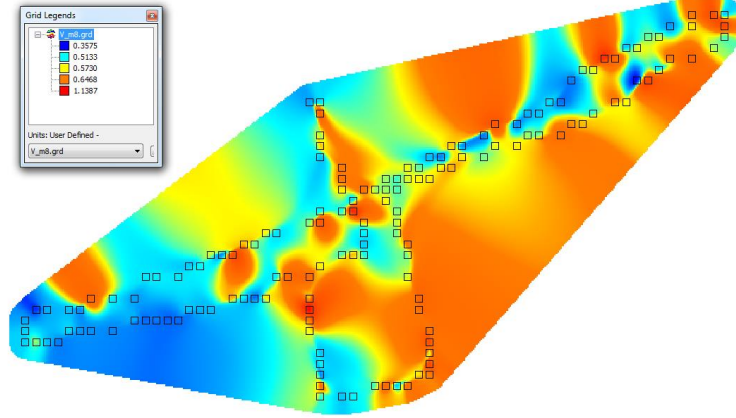
11. Kata ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



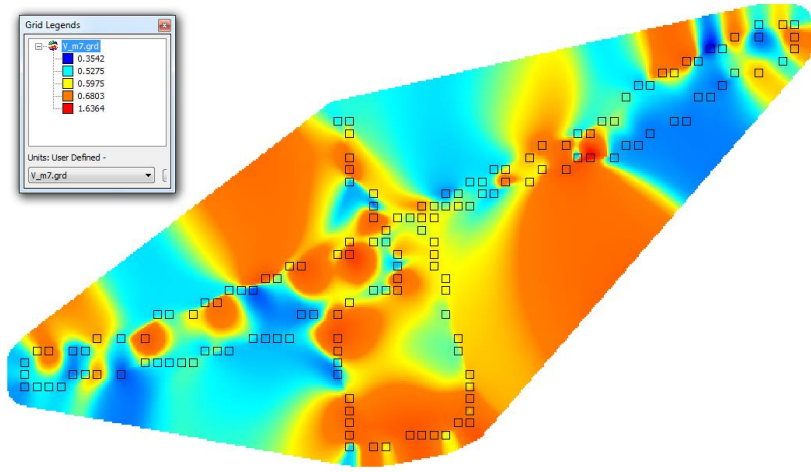
10. Kata ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



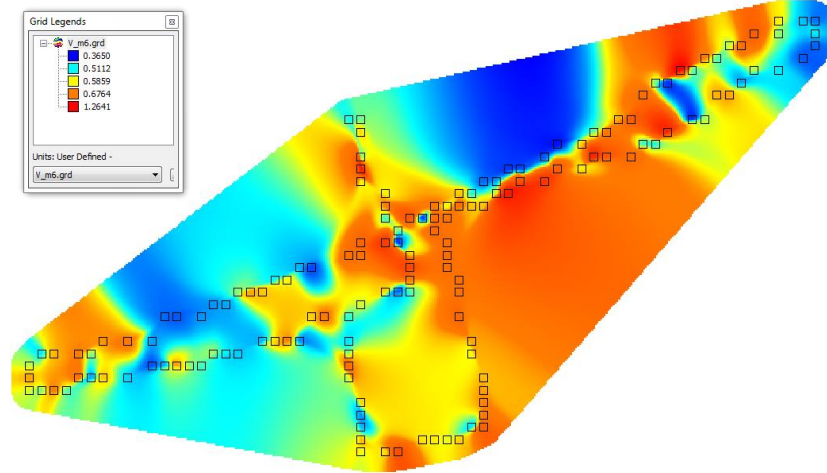
9. Kata ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



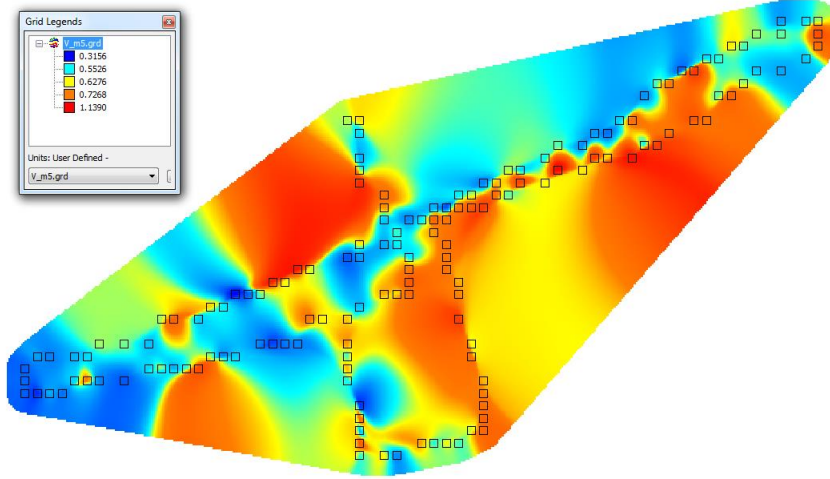
8. Kata ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



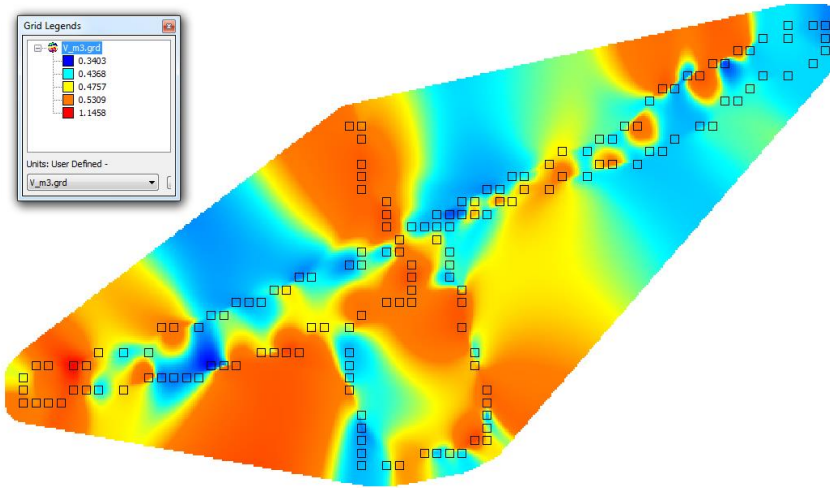
7. Kata ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



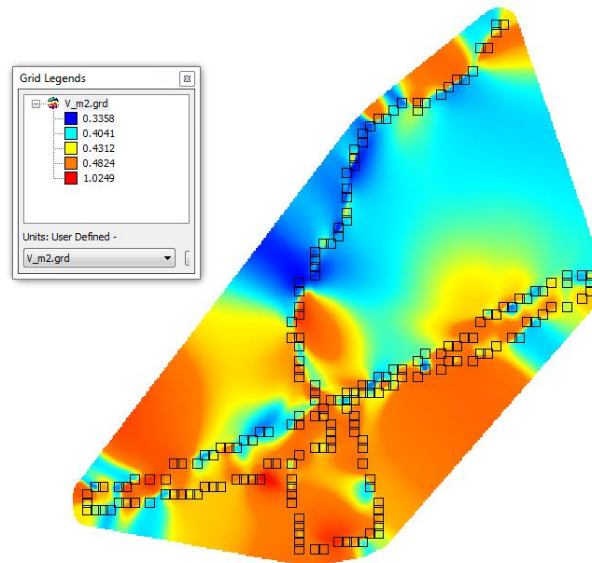
6. Kata ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



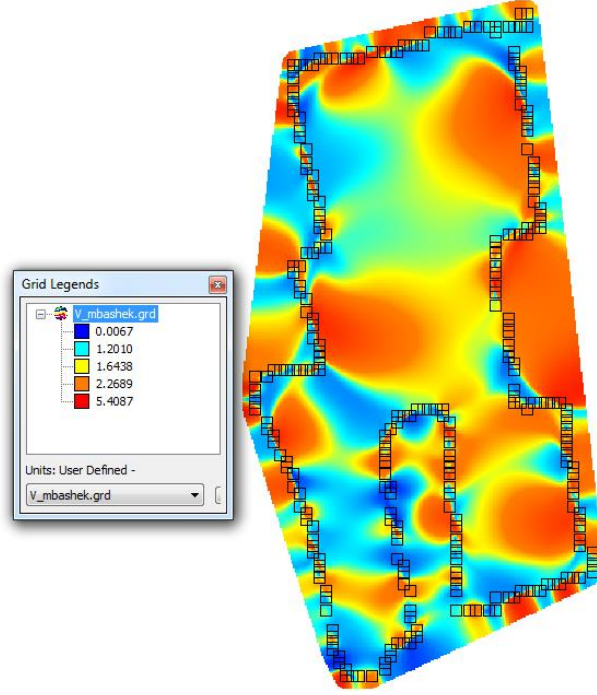
5. Kata ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



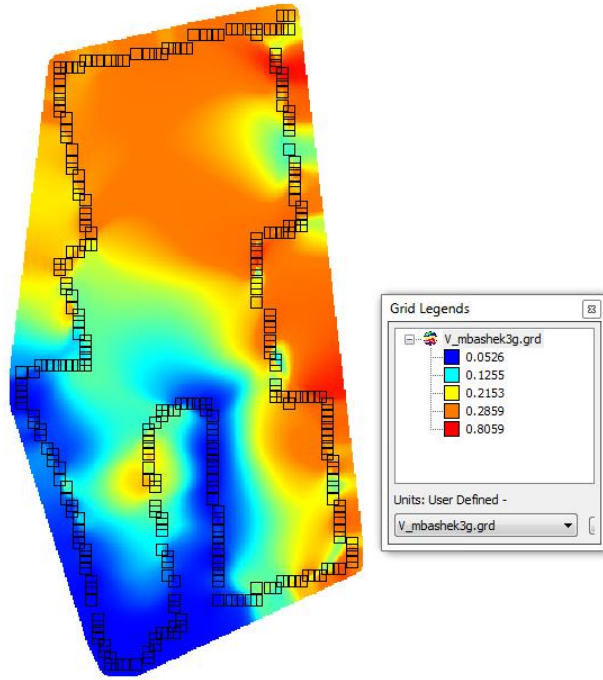
3. Kata ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



2. Kata ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



Baş Hekimlik bölgesine ait 100kHz-8GHz frekans aralığında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası



Baş Hekimlik bölgesine ait GSM & UMTS frekanslarında elektrik alan şiddeti uyumluluk haritası

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Teoman KARADAĞ

Doğum Yeri ve Tarihi: MALATYA / 14.02.1981

E-Posta: teomankaradag@gmail.com

Lisans: İnönü Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi 2001 / 2005

Yüksek Lisans: İnönü Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü-Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı 2007 / 2009

Mesleki Deneyim: Türk Telekom A.Ş. 2008 / ...

Yayın Listesi:

1 Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler (SCI & SSCI & Arts and Humanities)

- 1) T. Karadag., T. Abbasov, Z. Yildiz, A. Sarimeseli, Estimation of Magnetization Properties of the Ferromagnetic Poly-Granular Beds, *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol:31, no:6, pp. 826-830, 2010.

2 Ulusal hakemli dergilerde kabul edilen makaleler

- 1) T. Karadag, T. Abbasov, M. Otlu Karadag, Turgut Özal Tıp Merkezi Binası ve Çevresinde Elektromanyetik Alan Seviyelerinin Ölçülmesi, Değerlendirilmesi ve Haritalanması, *J Turgut Ozal Med Cent* 2014:21(3):186-9.
- 2) T. Karadag, A.R. Özdemir, T. Abbasov, Longterm Electromagnetic Field Measurements and Pollution Maps in A University Campus, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2014. DOI: 10.5505/pajes.2014.78941.
- 3) T. Karadag, A.R. Özdemir, T. Abbasov, Longterm and Continuous Measurements and Mapping of Electromagnetic Pollution Levels in a Selected Pilot Region, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2(3): 239-246 2014.

3 Ulusal hakemli dergilerde kabul edilen makaleler

- 1) T. Abbasov, A. Memmedov, B. Bayramov, T. Karadag, Analysis of Hydromagnetic Film Flow and Heat Transfer Processes Between Parallel Disks, *TPE-2008 4th International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering*, Pitesti, ROMANIA, 2008.
- 2) T. Abbasov, T. Karadag, A. Memmedov, Some Aspect of Magnetization Properties of The Granular Beds, *6th International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering*, Tabriz, IRAN, 2010.
- 3) T. Karadag, T. Abbasov, E. Karaca, High Frequency Electromagnetic Fields's Continuous Measurements & Monitoring with MonitEM, *10th International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering*, Baku, Azerbaijan, 2014.

4 Ulusal konferanslarda yayınlanan bildiriler

- 1) T. Karadag, T. Abbasov, Ferromanyetik Dolgulu Yatakların Mıknatıslanma Özelliklerinin İncelenmesi, *ELECO-2008*, Bursa, TÜRKİYE.

5 Ulusal kongrelerde yayınlanan bildiriler

- 1) T. Karadag, T. Abbasov, Elektromanyetik Alanların “MONITEM” Sistemi ile Sürekli Ölçülmesi ve İzlenmesi, *II. Ulusal EMC Kongresi*, Işık Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2013.
- 2) T. Karadag, T. Özdemir, T. Abbasov, Metropol Bir Şehirde GSM & UMTS Frekanslarındaki Elektrik Alanların Uzun Süreli Ölçüm, Sonuçların Ortam Sıcaklığı ve Nem Değişimi ile İlişkisinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, *VII. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi*, Elazığ, TÜRKİYE, 2014.
- 3) T. Karadag, T. Özdemir, T. Abbasov, Bir Radyolink İstasyonunda Yüksek Frekanslı Elektrik Alanların Uzun Süreli Ölçüm, Sonuçların Ortam Sıcaklığı ve Nem Değişimi ile İlişkisinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, *VII. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi*, Elazığ, TÜRKİYE, 2014.

6 Ulusal sempozyumlarda yayınlanan bildiriler

- 1) T. Karadag, A.R. Özdemir, T. Abbasov, İnönü Üniversitesi Yerleşkesinde Dönemsel Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Değerleri ve Haritaları, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2: 336-341 2013.
- 2) T. Karadag, T. Abbasov, Bir Üniversite Hastanesi Binası ve Çevresinde Elektromanyetik Alan Ölçümleri, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2: 342-348 2013.
- 3) T. Karadag, T. Abbasov, Malatya Şehir Merkezi ve Yakın Bölgelerinde Uzun Süreli Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Çalışmaları ve Haritaları, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2: 349-353 2013.
- 4) T. Karadag, T. Abbasov, Telekomünikasyon Binası ve Radyolink İstasyonunda Elektromanyetik Alan Ölçümleri, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2: 354-358 2013.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- 1) T. Karadag, T. Abbasov, M. Otlu Karadag, Turgut Özal Tıp Merkezi Binası ve Çevresinde Elektromanyetik Alan Seviyelerinin Ölçülmesi, Değerlendirilmesi ve Haritalanması, *J Turgut Ozal Med Cent* 2014;21(3):186-9.
- 2) T. Karadag, A.R. Özdemir, T. Abbasov, Longterm Electromagnetic Field Measurements and Pollution Maps in A University Campus, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2014;20(8),314-318. DOI: 10.5505/pajes.2014.78941.
- 3) T. Karadag, A.R. Özdemir, T. Abbasov, Longterm and Continuous Measurements and Mapping of Electromagnetic Pollution Levels in a Selected Pilot Region, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2(3): 239-246 2014.
- 4) T. Karadag, T. Abbasov, E. Karaca, High Frequency Electromagnetic Fields's Continuous Measurements & Monitoring with MonitEM, *10th International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering*, Baku, Azerbaijan, 2014.
- 5) T. Karadag, T. Abbasov, Elektromanyetik Alanların “MONITEM” Sistemi ile Sürekli Ölçülmesi ve İzlenmesi, *II. Ulusal EMC Kongresi*, Işık Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2013.
- 6) T. Karadag, T. Özdemir, T. Abbasov, Metropol Bir Şehirde GSM & UMTS Frekanslarındaki Elektrik Alanların Uzun Süreli Ölçüm, Sonuçların Ortam Sıcaklığı ve Nem Değişimi ile İlişkisinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, *VII. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi*, Elazığ, TÜRKİYE, 2014.
- 7) T. Karadag, T. Özdemir, T. Abbasov, Bir Radyolink İstasyonunda Yüksek Frekanslı Elektrik Alanların Uzun Süreli Ölçüm, Sonuçların Ortam Sıcaklığı ve Nem Değişimi ile İlişkisinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, *VII. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi*, Elazığ, TÜRKİYE, 2014.

- 8) T. Karadag, A.R. Özdemir, T. Abbasov, İnönü Üniversitesi Yerleşkesinde Dönemsel Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Değerleri ve Haritaları, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2: 336-341 2013.
- 9) T. Karadag, T. Abbasov, Bir Üniversite Hastanesi Binası ve Çevresinde Elektromanyetik Alan Ölçümleri, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2: 342-348 2013.
- 10) T. Karadag, T. Abbasov, Malatya Şehir Merkezi ve Yakın Bölgelerinde Uzun Süreli Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Çalışmaları ve Haritaları, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2: 349-353 2013.
- 11) T. Karadag, T. Abbasov, Telekomünikasyon Binası ve Radyolink İstasyonunda Elektromanyetik Alan Ölçümleri, *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Çevre ve İnsan Sağlığı EMANET-2013*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul TÜRKİYE, 2: 354-358 2013.
- 12) T. Karadag, *Elektromanyetik Kirlilik Nedir?*
<http://iletisim.turktelekom.co.m.tr/PortalOfis/ebultenler/VERIMDEGISIM/Sayi22/flipviewexpress.html>. (Verim ve Değişim E-bülten. 22 (2013) 2-7).