

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

**DİYARBAKIR İL MERKEZİ'NDE ELEKTROMANYETİK
ALAN MARUZİYET SEVİYELERİNİN ÖLÇÜMÜ,
HARİTALANDIRILMASI VE İSTATİSTİKSEL ANALİZİ**

MUSTAFA CANSIZ

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

MAYIS 2016

Tez Başlığı : Diyarbakır İl Merkezi'nde Elektromanyetik Alan
Maruziyet Seviyelerinin Ölçümü, Haritalandırılması ve
İstatistiksel Analizi

Tezi Hazırlayan : Mustafa CANSIZ

Sınav Tarihi : 13.05.2016

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

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV
İnönü Üniversitesi

Üye Prof. Dr. Salih MAMIŐ
İnönü Üniversitesi

Üye Prof. Dr. Saadetdin HERDEM
Selçuk Üniversitesi

Üye Doç. Dr. Asım KAYGUSUZ
İnönü Üniversitesi

Üye Yrd. Doç. Dr. Fevzi HANSU
Siirt Üniversitesi

Prof. Dr. Alaattin ESEN
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “**Diyarbakır İl Merkezi’nde Elektromanyetik Alan Maruziyet Seviyelerinin Ölçümü, Haritalandırılması ve İstatistiksel Analizi**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Mustafa CANSIZ

ÖZET

Doktora Tezi

DİYARBAKIR İL MERKEZİ'NDE ELEKTROMANYETİK ALAN MARUZİYET SEVİYELERİNİN ÖLÇÜMÜ, HARİTALANDIRILMASI VE İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Mustafa CANSIZ

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

117+X Sayfa

2016

Danışman: Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV

Teknolojinin hızlı gelişmesi ile birlikte insanların radyofrekans (RF) elektromanyetik alanlara (EMA) maruziyeti gittikçe artmaktadır. Bu nedenle toplumda RF EMA hakkında artan bir endişe görülmektedir.

Bu çalışmada, Diyarbakır İl Merkezi'nde FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandlarının ana yollardaki RF EMA maruziyet seviyeleri mobil olarak ölçülmüştür. Daha sonra mobil ölçüm değerleri sayısal harita üzerinde tematik, üç boyutlu ve kontur harita olarak gösterilmiştir. Ölçümlerde yüksek doğruluklu ve portatif spektrum analizör cihazı, bir araç üzerine yerleştirilmiş üç eksenli elektrik alan anteni, bağlantı kabloları ve ölçüm değerlerini kaydetmek için de bir dizüstü bilgisayarı kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada bahsi geçen altı bandın mobil ölçüm değerlerinin normal dağılmadığı ve bağımsız değişkenler arasında varyansların homojen olmadığı tespit edilmiştir. Altı bandın meydana getirdiği toplam maruziyeti belirlemek için ayrıca Toplam band hesaplanmıştır. Ortalama elektrik alan değerleri dikkate alındığında toplam maruziyete katkı sağlayan her bir bandın sırası ile UMTS, GSM 900, GSM 1800, TV4-5, FM ve TV3 olduğu tespit edilmiştir. Spearman's Rho korelasyon katsayılarına göre mobil ölçümü yapılan haftanın günleri arasında güçlü bir korelasyonun olmadığı ölçüm değerlerinin istatistiksel analizi ile gözlemlenmiştir. Son olarak, tüm ölçüm değerlerinin Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu'nun önerdiği referans seviyelerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Elektromanyetik Alan, Maruziyet Seviyesi, Radyofrekans, Ölçüm, Sayısal Harita, İstatistik

ABSTRACT

PhD. Thesis

MEASUREMENT AND MAPPING OF ELECTROMAGNETIC FIELD EXPOSURE LEVELS IN THE CITY CENTER OF DIYARBAKIR AND STATISTICAL ANALYSIS

Mustafa CANSIZ

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

117+X Pages

2016

Supervisor: Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV

People are increasingly exposed to radiofrequency (RF) electromagnetic fields (EMF) with rapid development of technology. Therefore, there is a growing concern about RF EMF exposure in society.

In this study, RF EMF exposure levels of FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 and UMTS bands were measured as mobile on the main streets in the city center of Diyarbakır. Then, mobile measurement values were shown as thematic, three dimensional and contour map on the digital maps. The measurement system consisted of high precision and portable spectrum analyzer, three axis electric field antenna mounted on the top of a car, connection cables and a laptop which was used to record the measurement samples.

It was determined that mobile measurement values of six bands were not in normal distribution and variances between independent variables were not homogeneous. Total band was also calculated to determine the total exposure of the six bands. In terms of mean electric field values, contribution of each band to the Total band was arranged as UMTS, GSM900, GSM1800, TV4-5, FM, and TV3 band, respectively. It was observed by the statistical analysis of the measurement values that there was no strong correlation between measurement days of the week, according to Spearman's Rho correlation coefficient. It was determined that all measurement values were below the reference levels of International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.

KEYWORDS: Electromagnetic Field, Exposure Level, Radiofrequency, Measurement, Digital Map, Statistics

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu çalışmanın her aőamasında bana her türlü yardım ve desteği sunan çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV'a; yine kıymetli yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Bahattin KURT'a, Yrd. Doç. Dr. Teoman KARADAĞ'a ve Arő. Gör. A. Recai ÇELİK'e çok teşekkür ederim.

Bu alıőmayı 13-MF-25 proje numarası ile destekleyen Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne de değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, bugünlere gelmemde büyük emeği olan sevgili aileme gönülden őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	7
2.1. FM Yayını	7
2.2. Karasal TV Yayını	7
2.3. GSM Teknolojisi	8
2.4. UMTS Teknolojisi	9
2.5. Zamanla Değişen RF EMA.....	10
2.5.1. Maxwell denklemleri	13
2.6. Antenler	16
2.6.1. Anten alanları	17
2.6.2. FM antenleri	19
2.6.3. TV antenleri.....	21
2.6.4. GSM antenleri.....	24
2.6.5. UMTS antenleri	26
2.7. ICNIRP Kılavuzları	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	35
3.1. Materyal.....	35
3.1.1. Spektrum analizör cihazı.....	35
3.1.2. Elektrik alan anteni	37
3.1.3. Bağlantı kabloları.....	38

3.1.4.	Dizüstü bilgisayar ve güç kaynağı	39
3.1.5.	Yazılım	39
3.2.	Yöntem	40
3.2.1.	Mobil ölçüm yöntemi.....	40
3.2.2.	Haritalandırma	42
3.2.3.	İstatistiksel analiz.....	44
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	45
4.1.	Mobil Ölçümlerin Analizi.....	45
4.2.	Mobil Olarak Ölçümleri Yapılan Elektromanyetik Alanların İstatistiksel Analizlerinin Değerlendirilmesi.....	66
4.3.	Tematik Haritaların Analizi	76
4.4.	Üç Boyutlu ve Kontur Haritalarının Analizi	86
4.4.1.	FM bandının üç boyutlu ve kontur haritaları.....	86
4.4.2.	TV3 bandının üç boyutlu ve kontur haritaları	87
4.4.3.	TV4-5 bandının üç boyutlu ve kontur haritaları.....	88
4.4.4.	GSM 900 bandının üç boyutlu ve kontur haritaları	89
4.4.5.	GSM 1800 bandının üç boyutlu ve kontur haritaları	90
4.4.6.	UMTS bandının üç boyutlu ve kontur haritaları	91
4.4.7.	Toplam bandının üç boyutlu ve kontur haritaları	92
4.5.	Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde Yapılan Mobil Ölçüm.....	93
4.6.	Ölçüm Değerlerinin ICNIRP Referans Seviyeleri ile Karşılaştırılması...95	
5.	SONUÇ ve ÖNERİLER	96
	KAYNAKLAR.....	100
	EKLER	110
	ÖZGEÇMİŞ.....	117

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	GSM teknolojisinde hücresel yapı	8
Şekil 2.2.	Faraday'ın deneyi	10
Şekil 2.3.	Bir antenin alan bölgeleri.....	17
Şekil 2.4.	Elti firmasına ait A II/13 Fe kodlu antenin saha fotoğrafı	19
Şekil 2.5.	Kathrein firmasına ait K 52 31 187 kodlu antenin katalog resmi	20
Şekil 2.6.	Kathrein firmasına ait K 52 31 187 kodlu antenin saha fotoğrafı.....	20
Şekil 2.7.	Kathrein firmasına ait K 72 31 47 kodlu antenin katalog resmi	21
Şekil 2.8.	Kathrein firmasına ait K 72 31 47 kodlu antenin içi	22
Şekil 2.9.	Kathrein firmasına ait K 52 33 57 kodlu antenin katalog resmi	22
Şekil 2.10.	Kathrein firmasına ait K 52 33 57 kodlu antenin saha fotoğrafı.....	23
Şekil 2.11.	Kathrein firmasına ait K 52 30 57 kodlu antenin katalog resmi	23
Şekil 2.12.	Kathrein firmasına ait K 52 30 57 kodlu antenin saha fotoğrafı.....	23
Şekil 2.13.	Zamanla değişen elektrik alan şiddeti değerleri için referans seviyeleri	31
Şekil 2.14.	Zamanla değişen manyetik akı yoğunluğu değerleri için referans seviyeleri.....	32
Şekil 3.1.	SRM-3006 spektrum analizör cihazı.....	36
Şekil 3.2.	Üç eksenli elektrik alan anteni	37
Şekil 3.3.	Bağlantı kabloları.....	38
Şekil 3.4.	Mobil ölçüm sistemi	40
Şekil 3.5.	Mobil ölçüm yönteminde kullanılan güzergâh.....	41
Şekil 3.6.	Maksimum anlık toplam elektrik alan şiddeti sınıfları	43
Şekil 4.1.	Pazartesi günü (10.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri	55
Şekil 4.2.	Salı günü (11.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri	56

Şekil 4.3.	Çarşamba günü (12.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri	57
Şekil 4.4.	Perşembe günü (13.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri	58
Şekil 4.5.	Cuma günü (14.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri	59
Şekil 4.6.	Cumartesi günü (15.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri	60
Şekil 4.7.	Pazar günü (16.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri	61
Şekil 4.8.	Yedi günlük ölçüm örneklerine karşı Toplam bandın elektrik alan şiddeti değerleri	62
Şekil 4.9.	Bir baz istasyonunun kapsama alanında yapılan mobil ölçüm şeması	66
Şekil 4.10.	Bir baz istasyonu anteninden yayılan elektrik alan şiddeti değerlerinin belli mesafelerde enine ve boyuna ölçümleri	67
Şekil 4.11.	Pazartesi günü (10.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası	77
Şekil 4.12.	Salı günü (11.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası	78
Şekil 4.13.	Çarşamba günü (12.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası	79
Şekil 4.14.	Perşembe günü (13.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası	80
Şekil 4.15.	Cuma günü (14.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası	81
Şekil 4.16.	Cumartesi günü (15.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası	82
Şekil 4.17.	Pazar günü (16.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası	83
Şekil 4.18.	Diyarbakır İl Merkezi'ndeki en yüksek RF EMA maruziyet seviyelerine sahip iki nokta.....	84

Şekil 4.19. FM bandının üç boyutlu haritası	86
Şekil 4.20. FM bandının kontur haritası.....	86
Şekil 4.21. TV3 bandının üç boyutlu haritası.....	87
Şekil 4.22. TV3 bandının kontur haritası	87
Şekil 4.23. TV4-5 bandının üç boyutlu haritası	88
Şekil 4.24. TV4-5 bandının kontur haritası.....	88
Şekil 4.25. GSM 900 bandının üç boyutlu haritası	89
Şekil 4.26. GSM 900 bandının kontur haritası.....	89
Şekil 4.27. GSM 1800 bandının üç boyutlu haritası.....	90
Şekil 4.28. GSM 1800 bandının kontur haritası	90
Şekil 4.29. UMTS bandının üç boyutlu haritası.....	91
Şekil 4.30. UMTS bandının kontur haritası	91
Şekil 4.31. Toplam bandının üç boyutlu haritası.....	92
Şekil 4.32. Toplam bandının kontur haritası	92
Şekil 4.33. Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde yapılan mobil ölçüm.....	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	RF EMA bandları ve frekans aralıkları	3
Çizelge 2.1.	Mesafe ve dalga boyuna göre alanlar	18
Çizelge 2.2.	GSM bandında yayın yapan antenler	24
Çizelge 2.3.	UMTS bandında yayın yapan antenler	26
Çizelge 2.4.	Zamanla değişen temas akımları için belirlenen referans seviyeleri	30
Çizelge 2.5.	Meslek maruziyeti için referans seviyeleri	30
Çizelge 2.6.	Genel halk maruziyeti için referans seviyeleri.....	31
Çizelge 2.7.	10 GHz'e kadar zamanla değişen elektrik alan şiddeti ve manyetik alan şiddeti için temel kısıtlamalar	32
Çizelge 2.8.	10 GHz ile 300 GHz frekansları arasında güç yoğunluğu için temel kısıtlamalar.....	33
Çizelge 4.1.	FM bandı için günlük istatistiksel veriler	46
Çizelge 4.2.	TV3 bandı için günlük istatistiksel veriler.....	47
Çizelge 4.3.	TV4-5 bandı için günlük istatistiksel veriler	48
Çizelge 4.4.	GSM 900 bandı için günlük istatistiksel veriler.....	49
Çizelge 4.5.	GSM 1800 bandı için günlük istatistiksel veriler.....	50
Çizelge 4.6.	UMTS bandı için günlük istatistiksel veriler	51
Çizelge 4.7.	Toplam bandı için günlük istatistiksel veriler.....	52
Çizelge 4.8.	Yedi band için bir haftalık istatistiksel veriler	53
Çizelge 4.9.	Normallik testi.....	63
Çizelge 4.10.	Varyansların homojenliği testi	64
Çizelge 4.11.	Toplam band için Spearman's Rho korelasyon katsayıları	65
Çizelge 4.12.	Bir baz istasyonunun yaydığı elektrik alan şiddeti (E), manyetik alan şiddeti (H) ve güç yoğunluğu (S) değerlerinin enine ve boyuna ölçüm sonuçları	69
Çizelge 4.13.	En yüksek RF EMA maruziyet seviyelerine sahip iki noktanın bandlara göre bir haftalık elektrik alan şiddeti değerleri.....	85
Çizelge 4.14.	Kampüste yapılan mobil ölçüm değerleri	94

SİMGELER ve KISALTMALAR

ϵ	Ortamin dielektrik geçirgenligi
f	Frekans
η	Ortamin karakteristik empedansi
λ	Dalga boyu
μ	Ortamin manyetik geçirgenligi
Ω	Direnç
v	Hacim
π	Pi sayisi
ρ	Yük yoğunluğu
σ	Öz iletkenlik
t	Zaman
Φ	Manyetik akı
A	Amper
B	Manyetik akı yoğunluğu
D	Elektrik akı yoğunluğu
E	Elektrik alan şiddeti
H	Manyetik alan şiddeti
N	Sarım sayisi
J	Akım yoğunluğu
V	Gerilim
W	Güç
S	Güç yoğunluğu
T	Tesla
Z	Empedans
AM	Genlik modülasyonu
CDMA	Code Division Multiple Access
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
EMA	Elektromanyetik alanlar
EMK	Elektromotor kuvveti
FCC	Federal Communications Commission
FM	Frekans modülasyonu
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High Speed Downlink Pocket Access
IARC	International Centre for Research on Cancer
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	International Telecommunications Union
LTE	Long Term Evolution
RBW	Resolution bandwidth
RF	Radyofrekans
SAR	Specific absorption rate
TV	Televizyon
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
WHO	World Health Organization
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızlı gelişmesi ile birlikte canlıların radyofrekans (RF) elektromanyetik alanlara (EMA) maruziyeti gittikçe artmaktadır. Çevremizdeki EMA kaynağı sayılabilecek cihazların sayısındaki artış da gün geçtikçe daha fazla göze çarpmaktadır. Dolayısıyla, RF EMA maruziyeti toplumda artan bir endişeye neden olmaktadır. İnsan sağlığı için RF EMA maruziyet seviyelerinin ölçümü, değerlendirilmesi ve görselleştirilmesi epidemiyolojik çalışmalar [1–21] için çok büyük önem arz etmektedir.

Elektromanyetik alanların, özellikle orta, yüksek ve çok yüksek frekanslı dalgaların elektronik devreler ve sistemler üzerinde önemli etkileri olduğu eskiden beri bilinen bir gerçektir. Son yıllarda bahsi geçen bu etkilerin yanı sıra, elektromanyetik alanların çevre ve canlılar üzerinde olumsuz etkilerinin gözlemlenmesi ciddi bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

Kablosuz telefon kullanımı ile ilgili olarak, Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı - International Agency for Research on Cancer (IARC) [22] kötü bir beyin kanseri türü olan glioma için artan riske dayalı olarak RF EMA'yı insanlar için olasılıkla karsinojenik (Grup 2B) olarak sınıflandırmıştır.

RF EMA sadece insanların yaşamlarını değil aynı zamanda hayvan ve bitkilerin de ekolojik hayatlarını etkilemektedir. Bazı bilimsel çalışmalarda, RF EMA'nın serçe popülasyonunda azalmaya [23], beyaz leylek türünde de üretkenliğin azalmasına [24] neden olabileceği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, yine RF EMA'nın su mercimeği bitkisinin büyümesini [25] etkilediği ve çam ağaçlarının enine büyümesini düşürebildiği [26] gözlemlenmiştir.

İnsan sağlığını korumak amacıyla Dünya Sağlık Örgütü - World Health Organization (WHO) [27] iyonize etmeyen RF EMA maruziyet seviyeleri üzerinde bazı temel kısıtlamalar belirlemiştir. Bu amaçla, 1 Hz ile 10 MHz arasında sinir ve kas hücreleri üzerinde yan etkiyi önlemek için temel kısıtlama akım yoğunluğu olarak belirlenmiştir. 100 kHz ile 10 GHz arasında bölgesel veya tüm vücudun ısınmasını önlemek için temel kısıtlama özgül soğurma oranı - Specific Absorption Rate (SAR) olmuştur. 100 kHz ile 10 MHz arasında temel kısıtlamalar hem akım yoğunluğu hem de SAR değeri olarak alınmıştır. Son olarak, 10 GHz ile 300 GHz arasında vücut yüzeyinin ısınmasını veya aşırı doku ısınmasını önlemek için temel kısıtlama güç yoğunluğu (S) olarak belirlenmiştir [27].

Temel kısıtlamaların ölçümlerinde büyük zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle uygulamada karşılaşılan bu zorlukları aşmak için ölçümleri daha kolay olan bazı parametreler belirlenmiştir. Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [28] bu temel kısıtlamaları referans seviyesi olarak tanımlamış ve benzer şekilde Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü - Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) [29] ise maksimum izin verilen maruziyet seviyesi olarak benimsemiştir. Elektrik alan şiddeti (E), manyetik alan şiddeti (H), manyetik akı yoğunluğu (B) ve güç yoğunluğu (S) gibi bazı elektriksel parametreler referans seviyeleri veya maksimum izin verilen maruziyet seviyeleri için kullanılan fiziksel parametrelerdir. Bununla birlikte, bu parametrelerin ölçümü daha kolay ve daha pratiktir.

İnsan sağlığını RF EMA'nın olası zararlı etkilerinden korumak için ICNIRP, IEEE ve Federal İletişim Kurulu - Federal Communications Commission (FCC) [30] gibi bazı uluslararası kuruluşlar bu konuda çeşitli kılavuzlar hazırlamışlardır. Bu kılavuzlarda frekanslara göre birçok referans seviyeleri belirlenmiştir. Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok ülke ICNIRP'nin tavsiye etmiş olduğu kılavuzu referans kabul etmiştir. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu [31] Türkiye'de RF EMA maruziyet sınır seviyelerini belirleyen ve denetleyen kurumdur.

RF EMA maruziyet seviyelerinin ölçümünde kullanılan birçok farklı yöntem literatürde yer almaktadır. Bunlardan biri olan kişisel maruziyet ölçüm yöntemi [32–49] gönüllü kişinin günlük aktiviteleri boyunca maruz kaldığı maruziyet seviyesinin bilirlenmesinde kullanılan etkin bir ölçüm yöntemidir. Bu yöntemde katılımcı üzerinde Küresel Konumlandırma Cihazı - Global Positioning System (GPS) taşıdığından dolayı nerede ve hangi frekanslara maruz kaldığı tespit edilebilmektedir. Ancak ölçüm cihazının kişi üzerindeki konumu değiştiğinde elde edilen ölçüm değerleri de değişmekte ve bu yöntemle sadece bir kişinin maruziyet seviyesi ölçülebilmektedir. Diğer bir yöntem olan, sabit ölçüm yöntemi [50–69] belirli bir noktadaki RF EMA maruziyet seviyesinin zamanla değişimini gözlemlemek için kullanılan faydalı bir yöntemdir. Ancak bu yöntemde de sadece belirli bir nokta ölçülürken çevredeki diğer yerlerin maruziyet seviyeleri bilinmemektedir. Birçok noktada ölçüm alınmak istendiğinde ise ölçümler uzun zaman almaktadır. Böylelikle ilgili yerlerin ölçüm süresi uzamaktadır. Başka bir ölçüm yöntemi olan mobil ölçüm yönteminde [70–74] ölçüm cihazı ve GPS hareketli bir araç üzerine yerleştirilmektedir. Diğer yöntemlere nazaran bu

yöntemle daha hızlı hareket edildiğinden dolayı çok geniş alanlarda kısa sürede ölçüm yapmak mümkün olmaktadır. Böylece ortamın RF EMA karakteristiği hakkında hızlı bir şekilde bilgi sahibi olunmaktadır. Kişisel maruziyet ölçüm yöntemi ve sabit ölçüm yöntemi ile büyük ve geniş alanlarda ölçüm yapmak hem zor hem de uzun süre alacağından dolayı bu yöntemlerle şehir merkezleri gibi büyük alanlarda ölçüm yapmak neredeyse imkânsız olmaktadır. Buna karşın mobil ölçüm yöntemiyle şehir merkezleri gibi geniş alanlar kişisel maruziyet ölçüm yöntemine ve sabit ölçüm yöntemine kıyasla kısa sürede ve daha hızlı bir şekilde ölçülebilmektedir. Böylece mobil ölçüm yöntemi kullanılarak zaman konusunda büyük bir avantaj yakalanmıştır. Ancak bu yöntemin de dezavantajı, hareketli araçlarla her yere girmek bazen mümkün olmayabilmektedir.

Maruziyet seviyesi açısından bakıldığında Televizyon (TV) ve Frekans Modülasyonu (FM) vericileri ile ikinci nesil haberleşme sistemleri Global System for Mobile Communications (GSM) ve üçüncü nesil haberleşme sistemleri Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) vericileri önemli RF EMA kaynaklarıdır. Bununla birlikte genellikle FM ve TV vericileri şehir merkezlerine uzak olan noktalara yerleştirilmektedir. Ancak GSM ve UMTS servisi veren baz istasyonları ise genellikle şehir içlerine kurulmaktadır. FM ve TV vericilerinin çıkış gücü nispeten GSM ve UMTS vericilerinin çıkış gücünden yüksek olmaktadır. Fakat unutulmamalıdır ki, RF EMA'nın güç yoğunluğu uzak alanda mesafenin karesi ile ters orantılıdır [30]. GSM ve UMTS servislerinde kullanılan radyo kanallarının maksimum çıkış güçleri sırasıyla 10-40 watt ile 20-60 watt arasındadır [67]. Ayrıca FM ve TV sistemleri ile kıyaslandığında GSM ve UMTS sistemlerinde hem cep telefonunun hem de baz istasyonunun gerektiğinde çıkış güçlerini azaltan; dolayısıyla girişimi düşüren güç kontrol sistemleri [75] gibi güç tasarrufu sağlayan akıllı sistemler de mevcuttur. Ölçümü yapılan FM ve karasal TV yayın bandı ile GSM ve UMTS bandlarının frekans aralığı Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1.1. RF EMA bandları ve frekans aralıkları

RF EMA Bandı	Frekans aralığı (MHz)
FM	87.5 - 108
TV3	174 - 230
TV4-5	470 - 862
GSM 900	935 - 960
GSM 1800	1805 - 1880
UMTS	2110 - 2170

Elektromanyetik alanların hem canlılar ve çevre üzerindeki hem de elektronik devre ve sistemler üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve buna karşın koruyucu önlemler alabilmek için onların sürekli ölçülmesi ve denetlenmesi gerekmektedir. Büyük yerleşim yerlerinde, çalışma alanlarında ve metropol şehirlerde elektromanyetik alanların ölçümü ve denetlenmesi önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda büyük şehirlerde artan elektromanyetik alan maruziyet seviyesini ölçmek ve değerlendirmek için birçok bilimsel gruplar ve enstitüler ciddi çalışmalar yapmaktadırlar. Büyük yerleşim yerlerine ve çalışma alanlarına sahip ülkelerden biri de Türkiye'dir. Sürekli olarak artan elektromanyetik alan maruziyet seviyesi periyodik olarak ölçülse de Türkiye'nin tüm bölgelerinde istatistiksel verilere dayanarak yapılan ölçüm ve değerlendirme yöntemleri yetersizdir. Bu problemlerin çözümü için yapılan bir takım çalışmalar Türkiye'nin batı bölgelerinde yapılsa da doğu ve güneydoğu bölgelerinde yapılmamıştır. Oysa hızla gelişen, yoğun yerleşim ve çalışma alanlarına sahip bu bölgelerde elektromanyetik alan maruziyet seviyesinin artış trendi batıya nazaran daha yüksektir. Türkiye'de 4.5 G haberleşme sistemine geçiş ile birlikte bu artışın daha etkin olacağı kaçınılmazdır. Dolayısıyla bu bölgelerdeki elektromanyetik alan maruziyet seviyelerinin ölçümü, haritalandırılması ve istatistiksel analizi gibi problemler yeni bir boyut kazanmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en önemli şehirlerinde biri Diyarbakır'dır.

Ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan çok sayıda bilimsel çalışmaların incelenmesi sonucu birçok veri tespit edilmiştir. Elektromanyetik alan maruziyet seviyelerinin ölçüm ve değerlendirilme yöntemleri farklı koşullarda farklı şekillerde yapılmaktadır. Bu nedenle elektromanyetik alan maruziyet seviyelerinin ölçümü ve değerlendirilmesi için yerel koşulların da dikkate alındığı yeni veya daha etkin yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılan literatür çalışmalarına göre Türkiye'de mobil ölçüm yöntemi kullanılarak FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandlarının eşzamanlı olarak anlık elektrik alan şiddeti ölçümlerinin yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bahsi geçen bandların mobil ve eşzamanlı olarak anlık elektrik alan şiddeti ölçümleri yapılmak üzere Türkiye'nin en kalabalık şehirlerinden biri olan Diyarbakır İl Merkezi tercih edilmiştir. Ayrıca bu ölçümler için gerekli olan program tarafımızdan yazılmıştır.

Bu tez çalışmasında, Diyarbakır İl Merkezi'nde yer alan ana caddelerde dış ortamın RF EMA maruziyet seviyeleri mobil ölçüm yöntemi ile ölçülmüş ve daha sonra ölçüm değerleri sayısal haritası üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen mobil

ölçüm değerleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Çizelge 1’de yer alan altı RF EMA bandı bir hafta boyunca aynı saatte ve güzergâhta mobil olarak ölçülmüştür. Ölçüm değerleri uydu haritası üzerinde görselleştirilerek şehir merkezindeki en yüksek maruziyet noktaları tespit edilmiştir. Ayrıca, en yüksek maruziyet noktaları etrafında kreş, anaokulu, hastane gibi hassas yerlerin olup olmadığı incelenmiştir. Altı bandın meydana getirmiş olduğu toplam maruziyet seviyesi hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Daha sonra, FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800, UMTS ve Toplam bandlarının ayrı ayrı üç boyutlu ve kontur haritaları hazırlanmıştır. Ayrıca istatistiksel olarak ölçümü yapılan haftanın günleri arasında önemli bir korelasyon olup olmadığı ve toplam maruziyet seviyesine hangi RF EMA bandının sırası ile ne kadar katkı sağladığı analiz edilmiştir. Son olarak, elde edilen tüm ölçüm değerleri ICNIRP’nin belirlemiş olduğu referans seviyeleri ile karşılaştırılıp, insan sağlığı açısından sakıncalı bir durumun olup olmadığı tespit edilmiştir.

Tez çalışmasının nitelik bakımından önemi; bu çalışmayla ilk kez Türkiye’nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yoğun yerleşim ve çalışma alanına sahip Diyarbakır İl Merkezi’nde farklı spektruma sahip elektromanyetik alan maruziyet seviyeleri ölçülmüş, haritalandırılmış ve değerlendirilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarının istatistiksel modellere uygunluğu incelenmiştir. Ayrıca tez çalışmasında uygulanan materyal ve yöntem, bulgular ve sonuçlar bilimsel nitelik bakımından bu bölgede kurulacak olan 4.5 G gibi yeni nesil haberleşme sistemlerinin altyapısının oluşturulmasında kullanılabileceği gözlenmiştir

Bu tez çalışması kapsamında birçok makale ve bilimsel araştırma projesi yapılmıştır. “Mobile measurement of radiofrequency electromagnetic field exposure level and statistical analysis” başlıklı sci indeksli makalemiz [71] Measurement dergisinde yayınlanmıştır. Bununla birlikte “Diyarbakır İl Merkezi’nde UMTS bandının mobil ölçümü ve istatistiksel analizi” başlıklı ulusal hakemli makalemiz Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi’nde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir. Yine, “FM ve TV vericilerinin elektromanyetik alan maruziyet seviyelerinin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi” başlıklı bildirimiz [73] Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu’nda sözlü olarak sunulmuştur. Ayrıca “Diyarbakır İl Merkezi’nde 27 MHz – 3 GHz aralığındaki alt frekans bandlarının elektromanyetik kirlilik seviyelerinin ölçülmesi ve haritalandırılması” başlıklı bilimsel araştırma projemiz 13-MF-25 proje numarası ile Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından kabul edilmiş ve maddi olarak desteklenmiştir. Bununla birlikte Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü

tarafından desteklenen “Deneysel Mandibula Osteotomi Modelinde 900 MHz, 1800 MHz ve 2100 MHz Elektromanyetik Alanın Kemik İyileşmesi Üzerine Etkileri” ve “Anten ve Mikrodalga Laboratuvar Altyapısının Kurulması” başlıklı bilimsel araştırma projelerinde araştırmacı olarak görev yaptım.

Tezin içeriği birçok bölümden oluşmaktadır. 1. Bölümde; teknolojinin hızlı gelişmesi ile birlikte canlıların elektromanyetik alanlara maruziyetinin gittikçe arttığından bahsedilmiştir. Bu nedenle canlılar üzerindeki RF EMA maruziyet etkilerinin incelendiği çeşitli bilimsel çalışmalar bu kısımda sunulmuştur. Ayrıca konu ile ilgili literatür araştırması yapıp tez çalışmasının hedeflerinden bahsedilmiştir. 2. Bölümde; sabit sistemlerden FM ve Karasal TV yayınları bununla birlikte mobil haberleşme sistemlerinden ise GSM ve UMTS sistemleri kısaca anlatılmıştır. Ayrıca zamanla değişen RF EMA davranışları ile Maxwell denklemleri incelenmiştir. Buna ek olarak en yaygın kullanılan FM, TV, GSM ve UMTS antenleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Son olarak, ICNIRP kılavuzlarının genel halk ve meslek maruziyeti için referans seviyeleri incelenmiştir. 3. Bölümde; materyal olarak kullanılan spektrum analizörü, elektrik alan anteni, bağlantı kabloları, dizüstü bilgisayar ve güç kaynağı gibi cihazların teknik özellikleri de dikkate alınarak ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca mobil ölçüm için gerekli olan yazılımdan bahsedilmiştir. Yöntem olarak kişisel maruziyet ölçüm yöntemi, sabit ölçüm yöntemi ve mobil ölçüm yöntemi gibi yöntemler açıklanmıştır. Bahsi geçem tüm yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Ancak mobil ölçüm yöntemi detaylı bir şekilde incelenmiştir. 4. Bölümde; mobil ölçüm değerleri çeşitli istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Ayrıca tematik, üç boyutlu ve kontur haritaları hazırlanmış ve tüm haritalar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Buna ek olarak elde edilen mobil ölçüm değerleri ICNIRP'nin referans seviyeleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. 5. Bölümde; bu tez çalışması ile elde edilen sonuçlardan ve gelecekte bu konu ile ilgili yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde FM yayını, karasal TV yayını, GSM ve UMTS teknolojileri, zamanla değişen RF EMA davranışları, Maxwell denklemleri, bazı önemli anten türleri ile ICNIRP'nin insan sağlığını koruma amacıyla hazırlamış olduğu kılavuzlar konusuna kısaca değinilmiştir.

2.1. FM Yayını

Adını kullanmış olduğu frekans modülasyonu (FM) türünden alan FM yayını, genlik modülasyonuna göre yüksek yayın kalitesine sahiptir. Bu nedenle radyo yayıncılığında ticari anlamda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Evlerimizde, işyerlerimizde ve araçlarımızda dinlemiş olduğumuz FM yayın sinyalleri hem dış hem de iç ortamlarda bizleri kuşatmaktadır. Çizelge 1.1.'de gösterildiği gibi FM yayının frekansı, elektromanyetik spektrumda çok yüksek frekans bandında yer almaktadır. Bu modülasyon türünde iletilmesi istenen bilgi işaretinin genliğine göre taşıyıcı işaretinin frekansı değişmektedir. Her bir FM kanal band genişliği 200 kHz'dir [76]. FM modülasyonunun genel formülü aşağıdaki denklemde verilmiştir [77],

$$s(t) = A_c \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right) \quad (2.1)$$

$s(t)$ Zaman domeninde modüle edilmiş işareti ve $m(t)$ ise iletilmek istenen bilgi işaretini ifade etmektedir. A_c Sinüzoidal işaretin genliğini, f_c taşıyıcı işaretin frekansını ve k_f sabiti ise frekans duyarlılığını temsil etmektedir.

2.2. Karasal TV Yayını

Karasal TV vericileri genellikle yerleşim yerlerine hâkim yüksek noktalara kurulmaktadır. Böylece yerleşim merkezlerinde güçlü ve kaliteli bir sinyal sağlanmaktadır. Karasal TV yayınında görüntü iletimi için genlik modülasyonun özel bir türü olan artık yan band modülasyonu ve ses iletiminde ise frekans modülasyonu kullanılmaktadır. Çizelge 1.1.'de görüldüğü gibi karasal TV yayının frekansı, elektromanyetik spektrumda çok yüksek frekans ve ultra yüksek frekans bandında yer almaktadır. Kanal band genişliği ise 6-8 MHz arasında değişebilmektedir [76]. Genlik modülasyonunun en genel hali aşağıdaki denklemde yer almaktadır [77],

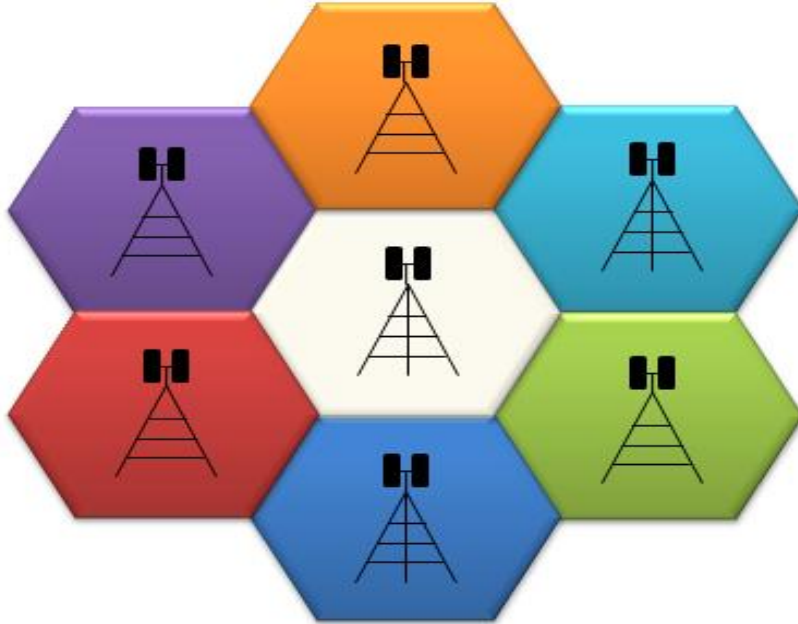
$$s(t) = A_c[1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (2.2)$$

$s(t)$ Genlik modülasyonlu işareti ve $m(t)$ ise iletilmek istenen bilgi işaretini ifade etmektedir. A_c Sinüzoidal işaretin genliğini, f_c taşıyıcı işaretin frekansını ve k_a sabiti ise genlik duyarlılığını temsil etmektedir.

2.3. GSM Teknolojisi

Mobil haberleşme teknolojilerinden biri olan GSM teknolojisi küresel çapta haberleşmeye olanak sağlayan bir iletişim protokolüdür. Türkiye’de GSM 900 ve GSM 1800 olmak üzere iki farklı frekans bandında GSM yayını yapılmaktadır. Baz istasyonundan cep telefona doğru olan haberleşme yönüne aşağı link yani downlink ve cep telefonundan baz istasyonuna olan haberleşme yönüne yukarı link yani uplink denir. GSM 900 bandının uplink frekans bandı 890 MHz ile 915 MHz ve downlink frekans bandı ise 935 MHz ile 960 MHz arasındadır. Ölçümlerde cep telefonları hareketli ve çıkış güçleri baz istasyonlarından daha az olduğundan sadece downlink bandı ölçülmüştür.

Şekil 2.1. de görüldüğü gibi GSM teknolojisindeki hücresel yapı sayesinde hücreler arasında handover yapılarak mobil iletişim kesilmeden devam etmektedir.



Şekil 2.1. GSM teknolojisinde hücresel yapı

Bu sistemde sınırlı sayıda frekans kaynağı bulunmaktadır. Dolayısıyla hücresele sistemde birbirini etkileyen hücreler arasında aynı frekans kullanılmaz fakat diğer hücreler arasında kullanılabilir. Böylece sınırlı sayıdaki frekans kaynağı farklı birçok hücrede kullanılarak küresel olarak iletişim sağlanır.

Bu teknolojide devre ve paket anahtarlama olmak üzere iki anahtarlama türü bulunmaktadır. Devre anahtarlama ile gerçek zamanlı sesli görüşmeler yapılmaktadır. Paket anahtarlama ise Genel Paket Radyo Servisleri - General Packet Radio Service (GPRS) ve daha hızlı veri aktarımına imkân sağlayan Enhanced Data rates for Global Evolution (EDGE) gibi mobil internet hizmetleri yer almaktadır.

2.4. UMTS Teknolojisi

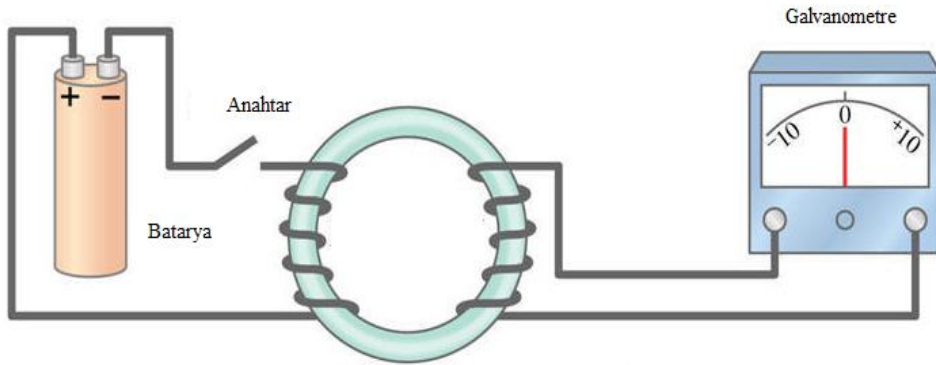
UMTS teknolojisi Uluslararası Telekomünikasyon Birliği - International Telecommunications Union (ITU) [78] tarafından üçüncü nesil mobil hücresele ağı sistemi olarak tanımlanmıştır. Türkiye’de üç mobil ağı operatörü de UMTS servisi vermektedir. Bu teknoloji ile birlikte gerçek zamanlı görüntülü görüşme imkânı doğmuştur. GSM teknolojisinden çok daha hızlı veri transferine ve veri güvenliğine olanak tanıyan UMTS teknolojisinde Kod Bölmeli Çoklu Erişim - Code Division Multiple Access (CDMA) tekniğı kullanılmaktadır.

Ülkemizde UMTS bandı 1920 MHz ile 1980 MHz uplink bandı ile 2110 MHz ile 2170 MHz downlink bandında yayın yapmaktadır. Kanal band genişliği 5 MHz’dir [79]. UMTS bandı ölçümlerinde, cep telefonları hareketli ve çıkış güçleri baz istasyonlarından daha az olduğundan sadece downlink bandı ölçülmüştür. Yine bu sistemde gerçek zamanlı sesli ve görüntülü görüşme işlemi devre anahtarlama ile yapılmaktadır. Bu karşın Yüksek Hızlı Veri Paketi İndirme Erişimi - High Speed Downlink Pocket Access (HSDPA) paket anahtarlama olarak bu teknolojide yer almaktadır. UMTS teknolojisi yüksek veri hızı ve daha geniş band aralığı ile GSM teknolojisine göre daha etkin bir kullanım olanağı sağlar.

2.5. Zamanla Değişen RF EMA

1820 yılında Danimarkalı bilim adamı Oersted pusulanın yakınından geçen bir telden elektrik akımı aktığında pusula iğnesinin saptığını ispatladı. Faraday 1831 yılında bir demir toroid etrafına iki farklı sarım sararak iki farklı devre oluşturdu. Şekil 2.2'deki gibi devrenin [80] bir ucuna galvanometre diğer devrenin ucuna ise bir batarya yerleştirdi. Batarya anahtar ile devreye sokulunca galvanometrede ani bir sapmanın olduğunu gözlemledi. Aynı şekilde batarya anahtar ile devreden kesilince bu defa galvanometre yine ani fakat zıt yönde saptı. Elbette bu deney onun değişen manyetik alanlarla ilgili yaptığı ilk deneydi [81].

Zamanla değişen elektrik alanların manyetik alan oluşturduğu ve zamanla değişen manyetik alanların elektrik alan oluşturduğuna dair iki fikirden birincisi Micheal Faraday'ın deneysel çalışmaları ile ikinci fikir ise James Clerk Maxwell'in teorik çalışmaları ile doğrulandı [81].



Şekil 2.2. Faraday'ın deneyi

Yukarıdaki deney sisteminden hareketle zamanla değişen manyetik alanların uygun bir kapalı devrede akım akmasına neden olacak bir elektromotor kuvveti (EMK) ürettiği söylenebilir. EMK sabit bir manyetik alanda hareket eden bir iletkende veya değişken bir manyetik alanda bulunan iletkenin uçlarında meydana gelen potansiyel farktır. Yani gerilimdir ve aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$EMK = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (2.3)$$

2.3 nolu denklemde yer alan Φ , herhangi bir kapalı yüzeyden geçen manyetik akıyı ifade etmektedir. t ise zamanı simgelemektedir. $d\Phi/dt$ bu manyetik akının

zamanla değişimini ifade etmektedir. $d\Phi/dt$ değerinin sıfırdan farklı olmasının nedeni, aşağıdaki durumlardan herhangi birinden kaynaklanmaktadır.

1. Zamanla değişen akının durağan kapalı devre ile ilişkisinin olması
2. Sabit akı ile kapalı devre arasında göreceli hareket
3. Bahsi geçen iki durumun yani 1. ve 2. maddelerin kombinasyonu

Ayrıca 2.3 nolu denklemdeki eksi işareti üretilen manyetik akının EMK'nın büyüklüğünü azaltıcı bir yönde olduğunu göstermektedir. Endüklenen gerilimin zıt yönlü bir akı üretmesi Lenz Yasası olarak bilinmektedir [81].

Eğer kapalı devre N adet sarımdan oluşan bir iletkenle EMK aşağıdaki şekilde ifade edilebilir,

$$EMK = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.4)$$

EMK skaler bir büyüklüktür ve birimi volt cinsindedir. Belirli kapalı bir yolda EMK'nın integral formu aşağıdaki gibidir,

$$EMK = \oint \bar{E} d\bar{L} \quad (2.5)$$

İlgili denklem yüzey alanı için aşağıdaki şekilde eşitlenebilir,

$$EMK = \oint \bar{E} d\bar{L} = - \frac{d}{dt} \int_S \bar{B} d\bar{S} \quad (2.6)$$

2.6 nolu denklemde yer alan \bar{B} , manyetik akı yoğunluğunu göstermektedir. Sağ elin parmakları kapalı alanın yönünü ve başparmak ise $d\bar{S}$ 'nin yönünü göstermektedir. Yüzey integrali ile kapalı çizgisel integral arasındaki sağ el ilişkisi akı integralleri ve EMK determinasyonu boyunca daima akılda tutulmalıdır [81].

İnceleme işlemi iki kısıma ayrılıp; ilkin sabit bir yol içinde değişen alanla toplam EMK'ya yapılan katkıyı bulup daha sonra sabit bir alanda hareket eden bir yol göz önünde tutulacaktır.

İlkin sabit bir yol düşünölsün. Manyetik akı 2.6 nolu denklemin sağında yer alan ve zamanla değişen tek değişkendir ve integral işareti altında kısmi türevi alınabilir,

$$EMK = \oint \bar{E} d\bar{L} = - \int_S \frac{d\bar{B}}{dt} d\bar{S} \quad (2.7)$$

Bu basit sonucu uygulamadan önce integral eşitliğinin noktasal formu elde edilsin. Kapalı çizgisel integrale Stokes teoremi uygulanırsa aşağıdaki denklem elde edilir,

$$\int_S (\nabla \times \bar{E}) d\bar{S} = - \int_S \frac{d\bar{B}}{dt} d\bar{S} \quad (2.8)$$

Yüzey integralleri özdeş yüzeyler üzerinde alındığında elde edilen denklemin diferansiyel formu aşağıdaki gibidir,

$$(\nabla \times \bar{E}) dS = - \frac{d\bar{B}}{dt} dS \quad (2.9)$$

ve

$$(\nabla \times \bar{E}) = - \frac{d\bar{B}}{dt} \quad (2.10)$$

2.10 nolu denklem en yaygın kullanılan Maxwell'in dört denkleminin birinin diferansiyel ya da noktasal formda yazılmış halidir. 2.8 nolu denklem Faraday yasasının sabit bir yola uygulanmış şeklidir. Eğer \bar{B} zamanın bir fonksiyonu değilse yani zamanla değişmiyorsa aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir.

$$\oint \bar{E} d\bar{L} = 0 \quad (\text{elektrostatik}) \quad (2.11)$$

ve

$$(\nabla \times \bar{E}) = 0 \quad (\text{elektrostatik}) \quad (2.12)$$

2.5.1. Maxwell denklemleri

Elektromanyetik endüklenmenin temel prensibi zamanla değişen bir manyetik alanın elektrik alan oluşturduğu gerçeğidir. Birçok deneyle de bu prensip ispatlanmıştır. Sonuç olarak zamanla değişen bir manyetik alan varsa $\nabla \times \bar{E} = 0$ yerine 2.10 nolu denklem yer almaktadır [82].

Ayrıca iki dönel ve iki ıraksama denklemleri aşağıdaki şekilde yazılmıştır,

$$\nabla \times \bar{E} = - \frac{d\bar{B}}{dt} \quad (2.10)$$

$$\nabla \times \bar{H} = \bar{J} \quad (2.13)$$

$$\nabla \cdot \bar{D} = \rho_v \quad (2.14)$$

$$\nabla \cdot \bar{B} = 0 \quad (2.15)$$

2.13 nolu denklemde yer alan \bar{H} , manyetik alan şiddetini göstermektedir. 2.14 nolu denklemde yer alan \bar{D} , elektrik akı yoğunluğunu ifade etmektedir. Bununla birlikte ρ yük yoğunluğunu ifade ederken v ise hacimi simgelemektedir. Yani ρ_v hacim yük yoğunluğunu ifade etmektedir [82].

Ayrıca yükün korunumu ilkesi sağlanır ve matematiksel ifadesi süreklilik denklemdir:

$$\nabla \cdot \bar{J} = - \frac{d\rho_v}{dt} \quad (2.16)$$

Burada önemli olan soru verilen dört denklemlilik kümenin zamanla değişen durumda 2.16 nolu denklem ile uyumlu olup olmadığıdır. Sorunun cevabının olumsuz olduğu 2.13 nolu denklemin ıraksaması alınarak görülebilir:

$$\nabla \cdot (\nabla \times \bar{H}) = 0 = \nabla \cdot \bar{J} \quad (2.17)$$

Diğer yandan, 2.16 nolu denklem zamanla değişen durumda $\nabla \cdot \bar{J}$ 'nin sıfır olmadığını belirttiğinden 2.13 nolu denklem genel durumda doğru değildir. 2.10, 2.13, 2.14 ve 2.15 nolu denklemler 2.16 nolu denklem ile uyumlu olacak şekilde yeniden düzenlenirse:

$$\nabla \cdot (\nabla \times \bar{H}) = 0 = \nabla \cdot \bar{J} + \frac{d\rho_v}{dt} \quad (2.18)$$

ve

$$\nabla \cdot (\nabla \times \bar{H}) = \nabla \cdot \left(\bar{J} + \frac{d\bar{D}}{dt} \right) \quad (2.19)$$

ve son hali

$$(\nabla \times \bar{H}) = (\bar{J} + \frac{d\bar{D}}{dt}) \quad (2.20)$$

Zamanla değişen bir elektrik alanın serbest akım akışı olmadığında bile ($\bar{J}=0$ iken) bir manyetik alan oluşturduğunu gösterir. İlave edilen $d\bar{D}/dt$ terimi 2.20 nolu denklemdeki yükün korunumu ilkesiyle bağdaşmalıdır [82].

$d\bar{D}/dt$ teriminin akım yoğunluğu ile aynı birime sahip olduğu rahatlıkla görülebilir. Bu terime yerdeğiştirme akım yoğunluğu denir ve bunun $\nabla \times \bar{H}$ denkleminde kullanımı Maxwell'in önemli katkılarından sadece biridir [82].

Maxwell denklemlerinin diferansiyel formu aşağıdaki gibidir.

$$\nabla \times \bar{E} = - \frac{d\bar{B}}{dt} \quad (2.10)$$

$$\nabla \times \bar{H} = \bar{J} + \frac{d\bar{D}}{dt} \quad (2.20)$$

$$\nabla \cdot \bar{D} = \rho_v \quad (2.14)$$

$$\nabla \cdot \bar{B} = 0 \quad (2.15)$$

Yukarıda verilmiş olan denklemler Maxwell denklemleri olarak bilinmektedir. 2.14 nolu denklemdeki ρ_v [C/m³] serbest yüklerin hacim yoğunluğu ve 2.20 nolu denklemdeki \bar{J} 'nin hem konveksiyon akımından hem de iletkenlik akımından meydana gelebilen serbest akım yoğunluğu olduğunu göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu dört denklem, 2.16 nolu süreklilik denklemi ve Lorentz Kuvvet Denklemi ile beraber elektromanyetik teorisinin temelini teşkil ederler. Tüm bu denklemler makroskopik elektromanyetik olayları tahmin etmek ve açıklamak için kullanılabilir [82].

Maxwell denklemleri birbirleri ile uyumlu olmakla birlikte birbirlerinden bağımsız değillerdir. Doğrusu iki iraksama denklemi iki döneel denkleminden türetilen süreklilik denklemi ile elde edilebilirler [82].

Maxwell denklemleri uzayın her yerinde geçerli olan diferansiyel denklemlerdir. Fiziksel ortamdaki elektromanyetik olayları açıklarken belirli sınırları ve belirli şekilleri olan sonlu nesnelere ilgilenmek zorundayız. Bundan dolayı Maxwell denklemlerinin diferansiyel formlarını integral eşdeğerlerine dönüştürmek gerekmektedir. 2.10 ve 2.20 nolu döneel denklemlerinin her iki tarafının yüzey integralini alırken sınırı C olan ve açık yüzeyi S şeklinde kabul edip Stokes teoremini uygularsak;

$$\oint_C \dot{\bar{E}} \cdot d\bar{l} = - \int_S \frac{d\bar{B}}{dt} \cdot d\bar{s} \quad (2.21)$$

ve

$$\oint_C \dot{\bar{H}} \cdot d\bar{l} = - \int_S \left(\bar{J} + \frac{d\bar{D}}{dt} \right) \cdot d\bar{s} \quad (2.22)$$

Şeklinde elde edilir. 2.14 ve 2.15 nolu ıraksama denklemlerinin S kapalı yüzeyi ve V hacmi üzerinden her iki tarafın hacim integrali alınır;

$$\oint_C \dot{\bar{D}} \cdot d\bar{s} = - \int_V \rho_v dv \quad (2.23)$$

ve

$$\oint_C \dot{\bar{D}} \cdot d\bar{s} = 0 \quad (2.24)$$

Şeklinde elde edilir. Maxwell denklemlerinin integral formu ve önemi aşağıdaki denklemlerde verilmiştir [82].

$$\oint_C \dot{\bar{E}} \cdot d\bar{l} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{Faraday yasası} \quad (2.25)$$

$$\oint_C \dot{\bar{H}} \cdot d\bar{l} = I + \int_S \left(\frac{d\bar{D}}{dt} \right) \cdot d\bar{s} \quad \text{Amper yasası} \quad (2.26)$$

$$\oint_S \dot{\bar{D}} \cdot d\bar{s} = Q \quad \text{Gauss yasası} \quad (2.27)$$

$$\oint_S \dot{\bar{B}} \cdot d\bar{s} = 0 \quad \text{izole manyetik yük yoktur} \quad (2.28)$$

2.6. Antenler

Antenler bir iletim hattındaki gerilim ve akımdan veya dalga kılavuzlarındaki E ve H alanlarından faydalanarak serbest uzaya veya belirli bir bölgeye elektromanyetik alan yayarlar. Antenin elektromanyetik alan yayması radyasyon olarak bilinmesinin yanında bunu yapan antenlere de verici antenler denmektedir. Buna karşın antenler ortamdaki gücü absorbe edebilirler ve bunu yapan antenlere de alıcı antenler denmektedir [83].

Dipol, horn, slot, spiral, uzun tel, çanak ve monopol gibi birçok anten türü bulunmaktadır. Dipol anten gibi bazı anten elemanlarının belli bir şekilde sabit veya elektronik olarak kontrol edilebilecek şekilde dizi antenler ile oluşturulan farklı sistemleri mevcuttur [83].

Verici antenden yayılan elektrik alanın yönü veya alıcı antenin en yüksek elektrik alan aldığı yön, antenin polarizasyon yönü olarak tanımlanmaktadır. Genlik modülasyonu bandında yayın yapan antenler dikey monopoller veya loop antenlerdir ve dikey polarizasyona sahiptirler. FM ve TV yayını yapan antenler yatay polarizasyona sahiptirler ve bir dizi yatay dizilmiş dipol antenlerden oluşurlar. Parabolik çanak antenler uydu haberleşmesinde kullanılırlar ve hem yatay hem de dikey polarizasyona sahiptirler [83]. GSM ve UMTS gibi mobil haberleşme sistemlerinde de hem yatay hem de dikey polarizasyona sahip antenler kullanılmaktadır.

Anten kazancı herhangi bir yönde yayılan güç yoğunluğunun konsantrasyon ölçüsüdür. Anten kazancı genellikle her yönde eşit yayın yapan izotropik anten ile karşılaştırılarak belirlenir. Dolayısıyla izotropik antenin kazancı bir birim kabul edilir [83]. Bunun dışında kazancın dipol anten referans alınarak gösterildiği başka bir anten kazanç birimi de mevcuttur.

İletim hattı ile yük arasında empedans farkından dolayı gücün bir kısmı geri yansımaktadır. Duran Dalga Voltaj Oranı - Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) yansımanın bir fonksiyonudur. Yani eğer iletim hattı ile yük arasında empedans farkı yoksa VSWR değeri bir olmaktadır. Bu değer aynı zamanda VSWR değerinin alabileceği en düşük değerdir. Diğer yandan eğer iletim hattı ile yük arasında empedans farkı varsa VSWR değeri birden daha büyük değer almaktadır. Genellikle birçok sistemde belli bir VSWR değerine kadar tolerans gösterilir fakat daha büyük VSWR değerleri kabul edilmez.

2.6.1. Anten alanları

Elektromanyetik ışıının yapan herhangi bir dipol antenin etrafında üç alan oluşmaktadır. Bu alanlar sırasıyla reaktif yakın alanı, ışına yakın alanı (Fresnel) ve uzak alan (Fraunhofer) olarak adlandırılmaktadır.

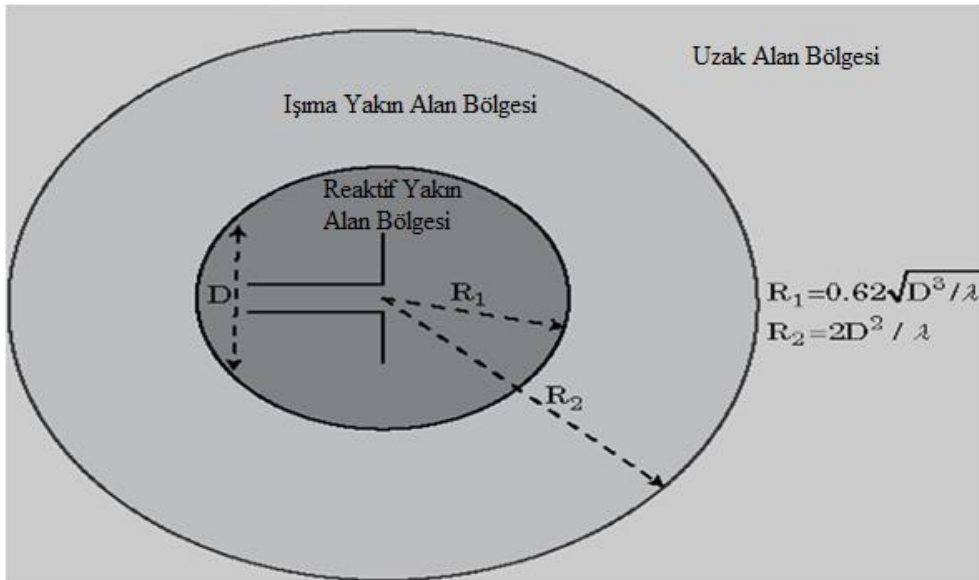
Reaktif yakın alanı anten yüzeyine en yakın olan alandır. Enerjinin bir kısmı hala ışımaya uğramayıp anten yüzeyine çok yakın depolanmaktadır. E ve H arasındaki ilişki çok karmaşıktır. Bu alanda herhangi bir noktada bazen E bazen de H baskın olabilmektedir [84].

Işıma yakın alanında (Fresnel) reaktif enerji bulunmamakla birlikte E ve H arasındaki ilişki yine karmaşık olmasına rağmen reaktif yakından daha tahmin edilebilirdir [84].

Uzak alan elektromanyetik dalgaların normal yayını yaptığı bir bölgedir. Reaktif yakın alanı ve ışına yakın alanında E ve H arasındaki ilişki çok karmaşık iken uzak alanda ise E ve H birbirine dik ve aralarındaki oran aşağıdaki denklemde [85] ifade edildiği gibi karakteristik empedans olmaktadır.

$$Z = \frac{E}{H} \cong \eta \quad (2.29)$$

Reaktif yakın alanı (Reactive near field region), ışına yakın alanı (Radiating near field region) ve uzak alan (Far field region) bölgeleri mesafe ve dalga boyuna göre Şekil 2.3'te [85] gösterilmiş ve Çizelge 2.1.'de de sıralanmıştır [86]



Şekil 2.3. Bir antenin alan bölgeleri

Çizelge 2.1. Mesafe ve dalga boyuna göre alanlar

Bölgeler	Antenden olan uzaklık
Reaktif yakın alanı	0 ile $0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ arası
Işıma yakın alanı	$0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ ile $2D^2/\lambda$ arası
Uzak alan	$2D^2/\lambda$ ile ∞ arası

Çizelge 2.1.'de yer alan D , çizgisel kaynağın boyunun uzunluğunu simgelemektedir. λ ise dalga boyunu simgelemektedir. Uzak alan mesafesi aynı zamanda Rayleigh mesafesi olarak adlandırılmaktadır. Özetle uzak alan koşulunun sağlanabilmesi için aşağıdaki eşitliklerin sağlanması gerekmektedir [86].

$$r > \frac{D^2}{\lambda} \quad (2.30)$$

$$r \gg D \quad (2.31)$$

$$r \gg \lambda \quad (2.32)$$

Yukarıdaki eşitliklerde görüldüğü gibi r uzak alan mesafesini temsil etmektedir. Bu çalışmada yapılan tüm ölçümler uzak alan bölgesinde yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında FM, karasal TV, GSM ve UMTS bandlarının yayınında sahada kullanılan yaygın antenlerden bazıları incelenmiştir. Bu antenlerin frekans bandları, kazançları, polarizasyon yönleri, VSWR değerleri, giriş empedansları ve fotoğrafları gibi bazı bilgiler aşağıdaki şekilde sunulmuştur.

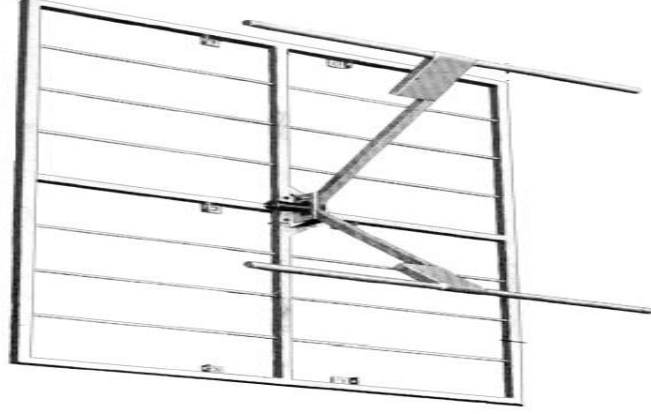
2.6.2. FM antenleri

FM yayıncılığında kullanılan Elti [87] firmasına ait A II/13 Fe kodlu anteni ile Kathrein firmasına [88] ait K 52 31 187 kodlu iki dipollü FM pano antenlerinin başlıca önemli anten parametreleri incelenmiştir.



Şekil 2.4. Elti firmasına ait A II/13 Fe kodlu antenin saha fotoğrafı

Şekil 2.4'te yer alan Elti firmasına ait A II/13 Fe kodlu antenin frekans aralığı 87.5 MHz ile 108 MHz arasında olup anten kazancı ise 4.0 ile 5.4 dB arasındadır. Bu anten yatay veya dikey polarizasyon yönünde yayın yapmaktadır. VSWR değeri 1.2 'ye eşit ve daha küçük olmakla beraber giriş empedansı 50Ω 'dur.



Şekil 2.5. Kathrein firmasına ait K 52 31 187 kodlu antenin katalog resmi

Kathrein firmasına ait K 52 31 187 kodlu antenin frekans aralığı 87.5 MHz ile 108 MHz arasında olup anten kazancı ise orta band için 7.5 dB 'dir. Bahsi geçen anten yatay veya dikey polarizasyon yönünde yayın yapmaktadır. VSWR değeri 1.15'ten daha küçük olmakla beraber giriş empedansı $50\ \Omega$ 'dur. Saha fotoğrafı Şekil 2.6'da gösterilen anten siyah renklidir ve katalog resmi Şekil 2.5'te yer almaktadır.



Şekil 2.6. Kathrein firmasına ait K 52 31 187 kodlu antenin saha fotoğrafı

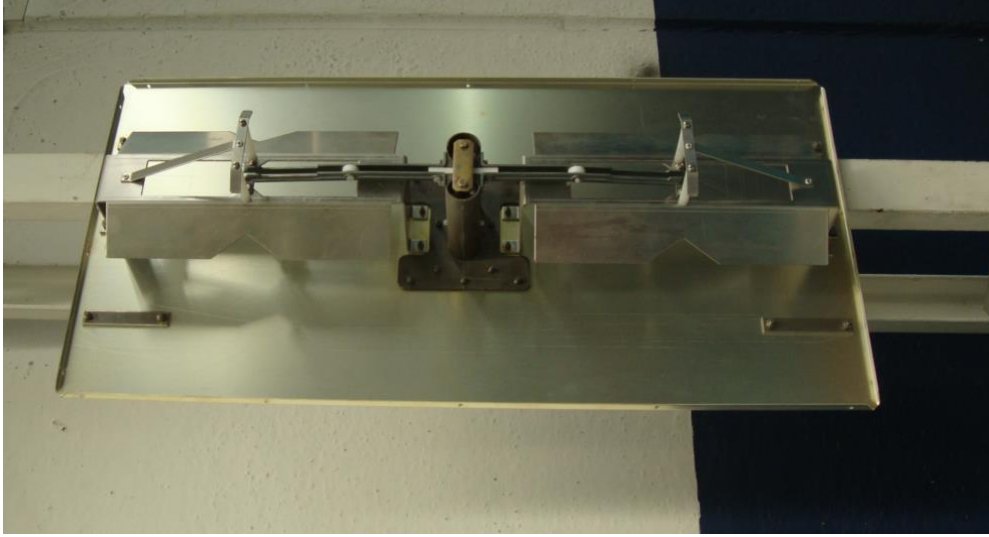
2.6.3. TV antenleri

Karasal TV yayıncılığında kullanılan Şekil 2.7’de yer alan Kathrein firmasına ait K 72 31 47 kodlu dört dipollü antenin Şekil 2.8’de içi gösterilmiştir. Bu anten UHF bandında yayın yapmaktadır. Şekil 2.9’da katalog resmi ve Şekil 2.10’da saha fotoğrafı yer alan Kathrein firmasına [88] ait K 52 33 57 kodlu dört dipollü VHF bandında yayın yapan anteni gösterilmiştir. Ayrıca yine Kathrein firmasına [88] ait K 52 30 57 kodlu iki dipollü VHF bandında yayın yapan antenin Şekil 2.11’de katalog resmi ve Şekil 2.12’de ise saha fotoğrafı bulunmaktadır.



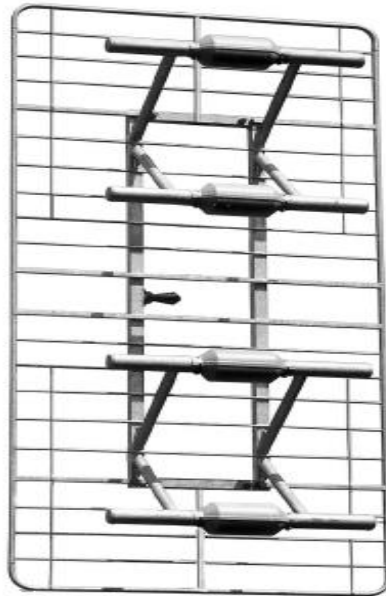
Şekil 2.7. Kathrein firmasına ait K 72 31 47 kodlu antenin katalog resmi

Kathrein firmasına ait K 72 31 47 kodlu antenin frekans aralığı 470 MHz ile 860 MHz arasında olup anten kazancı ise orta band için 11 dB’dir. Bahsi geçen anten yatay veya dikey polarizasyon yönünde yayın yapmaktadır. VSWR değeri 1.1’den daha küçüktür. Antenler alüminyumdan yapılmış ve fiberglass ile korunmuştur. Şekil 2.8’de dört dipollü antenin içi görünmektedir.



Şekil 2.8. Kathrein firmasına ait K 72 31 47 kodlu antenin içi

Şekil 2.9'da katalog resmi ve Şekil 2.10'da saha fotoğrafı bulunan Kathrein firmasına ait K 52 33 57 kodlu antenin frekans aralığı 174 MHz ile 230 MHz arasında olup anten kazancı ise orta band için 11 dB'dir. Bu anten sadece yatay polarizasyon yönünde yayın yapmaktadır. VSWR değeri 1.1'den daha küçüktür. Giriş empedansı 50 Ω 'dur.

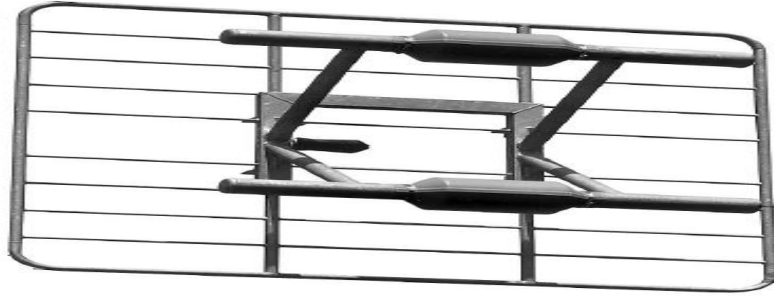


Şekil 2.9. Kathrein firmasına ait K 52 33 57 kodlu antenin katalog resmi



Şekil 2.10. Kathrein firmasına ait K 52 33 57 kodlu antenin saha fotoğrafı

Şekil 2.11’de katalog resmi ve Şekil 2.12’de saha fotoğrafı bulunan Kathrein firmasına ait K 52 30 57 kodlu iki dipollü antenin frekans aralığı 174 MHz ile 230 MHz arasında olup anten kazancı ise orta band için 8 dB’dir. Bahsi geçen anten yatay veya dikey polarizasyon yönünde yayın yapmaktadır. VSWR değeri 1.08’den daha küçüktür. Giriş empedansı 50 Ω ’dur.



Şekil 2.11. Kathrein firmasına ait K 52 30 57 kodlu antenin katalog resmi



Şekil 2.12. Kathrein firmasına ait K 52 30 57 kodlu antenin saha fotoğrafı

2.6.4. GSM antenleri

GSM bandında yayın yapan Kathrein firmasına ait K 739 620, K 739 622, K 800 10202, K 800 10303 ve K 742 264 kodlu antenlerinin başlıca önemli anten parametreleri incelenmiştir.

Çizelge 2.2. GSM bandında yayın yapan antenler

No	Anten kodu	Üretici firma
1	K 739 620	Kathrein
2	K 739 622	Kathrein
3	K 800 10202	Kathrein
4	K 800 10303	Kathrein
5	K 742 264	Kathrein

Çizelge 2.2’de yer alan Kathrein firmasına ait K 739 620 kodlu antenin frekans aralığı 806 MHz ile 960 MHz arasındadır. Anten kazancı 806 MHz ile 880 MHz arasında 12 dBi ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 12.5 dBi’dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yani, +45° ve -45° yönünde yayın yapmaktadır. Yatay ışınma genişliği 65° ve dikey ışınma genişliği 27°’dir. VSWR değeri 1.5’ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50 Ω ’dur.

Kathrein firmasına ait olan ve Çizelge 2.2’de bulunan K 739 622 kodlu antenin frekans aralığı 806 MHz ile 960 MHz arasındadır. Anten kazancı 806 MHz ile 880 MHz arasında 15 dBi ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 15.5 dBi’dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yani, +45° ve -45° yönünde yayın yapmaktadır. Yatay ışınma genişliği 65° ve dikey ışınma genişliği 15°’dir. VSWR değeri 1.4’ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50 Ω ’dur.

Çizelge 2.2’de yer alan Kathrein firmasına ait K 800 10202 kodlu antenin frekans aralığı 790 MHz ile 960 MHz arasındadır. Anten kazancı 790 MHz ile 862 MHz arasında 14.5 dBi, 824 MHz ile 894 MHz arasında 14.7 dBi ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 15 dBi’dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yani, +45° ve -45° yönünde yayın yapmaktadır. Yatay ışınma genişliği 790 MHz ile 862 MHz arasında 69°, 824 MHz ile 894 MHz arasında 68° ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 65°’dir. Buna karşın dikey ışınma genişliği 790 MHz ile 862 MHz arasında 14.7°, 824 MHz ile 894 MHz arasında 14.3° ve 880 MHz ile 960 MHz

arasında ise 13.2° 'dir. VSWR değeri 1.5'ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50Ω 'dur. Ayrıca bu anten elektriksel olarak 0° 'lik aşağı yönlü bir eğime sahiptir.

Kathrein firmasına ait olan ve Çizelge 2.2'de bulunan K 800 10303 kodlu antenin frekans aralığı 790 MHz ile 960 MHz arasındadır. Anten kazancı 790 MHz ile 862 MHz arasında 0° 'lik elektriksel eğim için 14.5 dBi, 824 MHz ile 894 MHz arasında 0° 'lik elektriksel eğim için 14.7 dBi ve 880 MHz ile 960 MHz arasında 0° 'lik elektriksel eğim için ise 15 dBi'dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yani $+45^\circ$ ve -45° yönünde yayın yapmaktadır. Yatay ışıma genişliği 790 MHz ile 862 MHz arasında 67° , 824 MHz ile 894 MHz arasında 66° ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 65° 'dir. Buna karşın dikey ışıma genişliği 790 MHz ile 862 MHz arasında 15.7° , 824 MHz ile 894 MHz arasında 15.5° ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 15° 'dir. VSWR değeri 1.5'ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50Ω 'dur. Ayrıca bu antene 0° ile 14° arasında elektriksel olarak aşağı yönlü bir eğim verilebilmektedir.

Çizelge 2.2'de yer alan Kathrein firmasına ait K 742 264 kodlu antenin frekans aralığı 824 MHz ile 960 MHz arası ve 1710 MHz ile 2170 MHz arasındadır. Anten kazancı 824 MHz ile 894 MHz arasında 14 dBi, 870 MHz ile 960 MHz arasında 14 dBi, 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 16.5 dBi, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 16.8 dBi ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasında ise 17 dBi'dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yatay ışıma genişliği 824 MHz ile 894 MHz arasında 68° , 870 MHz ile 960 MHz arasında 65° , 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 65° , 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 65° ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasında ise 63° 'dir. Buna karşın dikey ışıma genişliği 824 MHz ile 894 MHz arasında 16° , 870 MHz ile 960 MHz arasında 14.5° , 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 7.5° , 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 7° ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasında ise 6.5° 'dir. VSWR değeri 1.5'ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50Ω 'dur. Ayrıca bu antene 824 MHz ile 960 MHz arası için 0° ile 14° arasında ve 1710 MHz ile 2170 MHz arası için 0° ile 8° arasında elektriksel olarak aşağı yönlü bir eğim verilebilmektedir.

2.6.5. UMTS antenleri

UMTS bandında yayın yapan Kathrein firmasına [88] ait K 742 226, K 742 215 ve K 742 211 kodlu antenleri, Huawei firmasına [89] ait ATR4518R4 kodlu anteni ve Powerwave firmasına [90] ait 7750.00 kodlu antenlerinin başlıca önemli anten parametreleri incelenmiştir.

Çizelge 2.3. UMTS bandında yayın yapan antenler

No	Anten kodu	Üretici firma
1	K 742 226	Kathrein
2	K 742 215	Kathrein
3	K 742 211	Kathrein
4	ATR4518R4	Huawei
5	7750.00	Powerwave

Çizelge 2.3'te yer alan Kathrein firmasına ait K 742 226 kodlu antenin frekans aralığı 806 MHz ile 960 MHz arası ve 1710 MHz ile 2170 MHz arasındadır. Bu anten dual bandlı bir antendir. Anten kazancı 806 MHz ile 866 MHz arasında 11.1 dBi, 824 MHz ile 894 MHz arasında 11.4 dBi ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 11.8 dBi'dir. Yine benzer şekilde 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 12.8 dBi, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 13.3 dBi ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasında ise 13.6 dBi'dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yatay ışınma genişliği 806 MHz ile 866 MHz arasında 67°, 824 MHz ile 894 MHz arasında 66° ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 64°'dir. Yine benzer şekilde 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 66°, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 60° ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasında ise yine 60°'dir. Buna karşın dikey ışınma genişliği 790 MHz ile 862 MHz arasındadır 34°, 824 MHz ile 894 MHz arasında 33° ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 30°'dir. Yine benzer şekilde 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 20°, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 18° ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasında ise 17.5°'dir. VSWR değeri 1.5'ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50 Ω 'dur.

Huawei firmasına ait olan ve Çizelge 2.3'te bulunan ATR4518R4 kodlu antenin frekans aralığı 790 MHz ile 960 MHz arası ve 1710 MHz ile 2690 MHz arasındır. Bu anten dual bandlı bir antendir. Anten kazancı 790 MHz ile 862 MHz arasında 15.7 dBi, 824 MHz ile 894 MHz arasında 16 dBi ve 880 MHz ile 960 MHz arasında 16.1 dBi'dir. Yine benzer şekilde 1710 MHz ile 1990 MHz arasında 17.5 dBi ve 1920 MHz ile 2200 MHz arasında ise 17.8 dBi'dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yatay ışınma genişliği 790 MHz ile 862 MHz arasında 65°, 824 MHz ile 894 MHz arasında 64° ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 62°'dir. Yine benzer şekilde 1710 MHz ile 1990 MHz arasında 65° ve 1920 MHz ile 2200 MHz arasında ise 62°'dir. Buna karşın dikey ışınma genişliği 790 MHz ile 862 MHz arasında 10.1°, 824 MHz ile 894 MHz arasında 9.8° ve 880 MHz ile 960 MHz arasında ise 9.3°'dir. Yine benzer şekilde 1710 MHz ile 1990 MHz arasında 5.8° ve 1920 MHz ile 2200 MHz arasında ise 5.4°'dir. VSWR değeri 1.5'ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50 Ω 'dur.

Kathrein firmasına ait olan ve Çizelge 2.3'te yer alan K 742 215 kodlu antenin frekans aralığı 1710 MHz ile 1880 MHz arası, 1850 MHz ile 1990 MHz arası ve 1920 MHz ile 2200 MHz arasındır. Anten kazancı 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 17.7 dBi, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 17.9 dBi ve 1920 MHz ile 2200 MHz arasında ise 18 dBi'dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yatay ışınma genişliği 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 67°, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 66° ve 1920 MHz ile 2200 MHz arasında ise 65°'dir. Buna karşın dikey ışınma genişliği 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 6.8°, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 6.5° ve 1920 MHz ile 2200 MHz arasında ise 6.2°'dir. VSWR değeri 1.5'ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50 Ω 'dur. Ayrıca bu antene 0° ile 10° arasında elektriksel olarak aşağı yönlü bir eğim verilebilmektedir.

Çizelge 2.3'te yer alan Powerwave firmasına ait 7750.00 kodlu antenin frekans aralığı 824 MHz ile 960 MHz arası ve 1710 MHz ile 2170 MHz arasındır. Anten kazancı 824 MHz ile 960 MHz arasında 14.2 dBi ve 1710 MHz ile 2170 MHz arasında ise 17.5 dBi'dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yatay ışınma genişliği 824 MHz ile 960 MHz arasında yaklaşık 69° ve 1710 MHz ile 2170 MHz arasında ise yaklaşık 63°'dir. Buna karşın dikey ışınma genişliği 824 MHz ile 960 MHz arasında yaklaşık 14.3° ve 1710 MHz ile 2170 MHz arasında ise yaklaşık 6.6°'dir. VSWR değeri 1.5'ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50 Ω 'dur. Ayrıca bu antene 824 MHz ile 960 MHz arası için 2° ile 12° arasında ve 1710 MHz ile 2170 MHz arası için 0° ile 8° arasında elektriksel olarak aşağı yönlü bir eğim verilebilmektedir.

Kathrein firmasına ait olan ve Çizelge 2.3'te yer alan K 742 211 kodlu antenin frekans aralığı 1710 MHz ile 1880 MHz arası, 1850 MHz ile 1990 MHz arası ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasındır. Anten kazancı 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 14.7 dBi, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 15 dBi ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasında ise 15.2 dBi'dir. Bu anten X polarizasyonuna sahiptir. Yatay ışıma genişliği 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 69°, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 67° ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasında ise 64°'dir. Buna karşın dikey ışıma genişliği 1710 MHz ile 1880 MHz arasında 14.5°, 1850 MHz ile 1990 MHz arasında 14° ve 1920 MHz ile 2170 MHz arasında ise 13°'dir. VSWR değeri 1.5'ten daha küçüktür. Giriş empedansı 50 Ω 'dur. Ayrıca bu antene 1710 MHz ile 1880 MHz arası için 0° ile 10° arasında, 1850 MHz ile 1990 MHz arası için 0° ile 10° arasında ve 1920 MHz ile 2170 MHz arası için 0° ile 10° arasında elektriksel olarak aşağı yönlü bir eğim verilebilmektedir.

2.7. ICNIRP Kılavuzları

ICNIRP kılavuzlarının başlıca amacı E , H ve EMA maruziyetlerinin insan sağlığı üzerindeki bilinen zararlı etkilerine karşı insanları korumak ve bu amaçla çeşitli kılavuzlar geliştirmektir. 1 Hz ile 100 kHz frekansları arasında zamanla değişen E ve H için bir kılavuz [91] ve yine 300 GHz 'e kadar zamanla değişen E , H ve EMA için başka bir kılavuz [28] bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, minimum 87.5 MHz ve maksimum 2100 MHz arasında zamanla değişen EMA değerleri ölçülmüştür.

EMA 'nın hem direk hem de indirek etkileri ICNIRP kılavuzlarında inceleme altına alınmıştır. Direk etkide vücudun alan ile teması kastedilmektedir. Direk olmayan etkide ise vücudun alan ile olan etkileşiminden bahsedilmektedir.

Giriş bölümünde de değinildiği gibi 1 Hz ile 10 MHz arasında temel kısıtlama akım yoğunluğu (J), 100 kHz ile 10 GHz arasında temel kısıtlama SAR değeri, 100 kHz ile 10 MHz arasında temel kısıtlama hem J hem de SAR değerleridir. Son olarak, 10 GHz ile 300 GHz arasında ise temel kısıtlama güç yoğunluğu (S) değeridir. Uzak alanda, bu değerlerin ölçümü için kullanılan elektriksel parametreler ve denklemler [28] aşağıda yer almaktadır.

$$S = \bar{E} \bar{H} = E^2/377 = 377H^2 \quad (2.33)$$

$$\bar{B} = \mu \bar{H} \quad (2.34)$$

$$\bar{J} = \sigma \bar{E} \quad (2.35)$$

2.33 nolu denklemde yer alan 377 Ω boşluğun karakteristik empedansını temsil etmektedir. 2.34 nolu denklemde yer alan μ [H/m] manyetik geçirgenliği ve 2.35 nolu denklemde gösterilen σ [S/m] ise ortamın elektriksel iletkenliğini simgelemektedir.

ICNIRP kılavuzları genel halk maruziyeti ve mesleki maruziyet olmak üzere iki sınıf için referans seviyesi belirlemiştir. Genel halk sınıfında çocukların ve yaşlıları olduğu kabul edilip ve bununla birlikte mesleki sınıftaki insanların E , H ve EMA bölgelerine tedbirli ve özel kıyafetle girdiği düşünüldüğünde doğal olarak genel halk sağlığı için belirlenen referans seviyelerinin mesleki maruziyet için belirlenen referans seviyelerinden daha düşük olması beklenecektir. Çizelge 2.4'te

110 MHz'e kadar iletken nesnelere kaynaklanan zamanla değişen temas akımları için belirlenen referans seviyeleri bulunmaktadır [28].

Çizelge 2.4. Zamanla değişen temas akımları için belirlenen referans seviyeleri

Maruziyet karakteristikleri	Frekans aralığı	Maksimum temas akımı (mA)
Mesleki maruziyet	2.5 kHz'e kadar	1.0
	2.5–100 kHz	$0.4f$
	100 kHz–110 MHz	40
Genel halk maruziyeti	2.5 kHz'e kadar	0.5
	2.5–100 kHz	$0.2f$
	100 kHz–110 MHz	20

Not: f kHz olarak değer almaktadır.

Mesleki maruziyet göz önünde bulundurulduğunda zamanla değişen E ve H değerleri için referans seviyeleri Çizelge 2.5'te yer almaktadır. Bununla birlikte genel halk maruziyeti dikkate alındığında zamanla değişen E ve H değerleri için referans seviyeleri Çizelge 2.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 2.5. Meslek maruziyeti için referans seviyeleri

Frekans aralığı	Elektrik alan şiddeti (V/m)	Manyetik alan şiddeti (A/m)
1 Hz'e kadar	-	163000
1 - 8 Hz	20000	$163000/f^2$
8 - 25 Hz	20000	$20000/f$
0.025 - 0.82 kHz	$500/f$	$20/f$
0.82 - 65 kHz	610	24.4
0.065 - 1 MHz	610	$1.6/f$
1 - 10 MHz	$610/f$	$1.6/f$
10 - 400 MHz	61	0.16
400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$
2 - 300 GHz	137	0.36

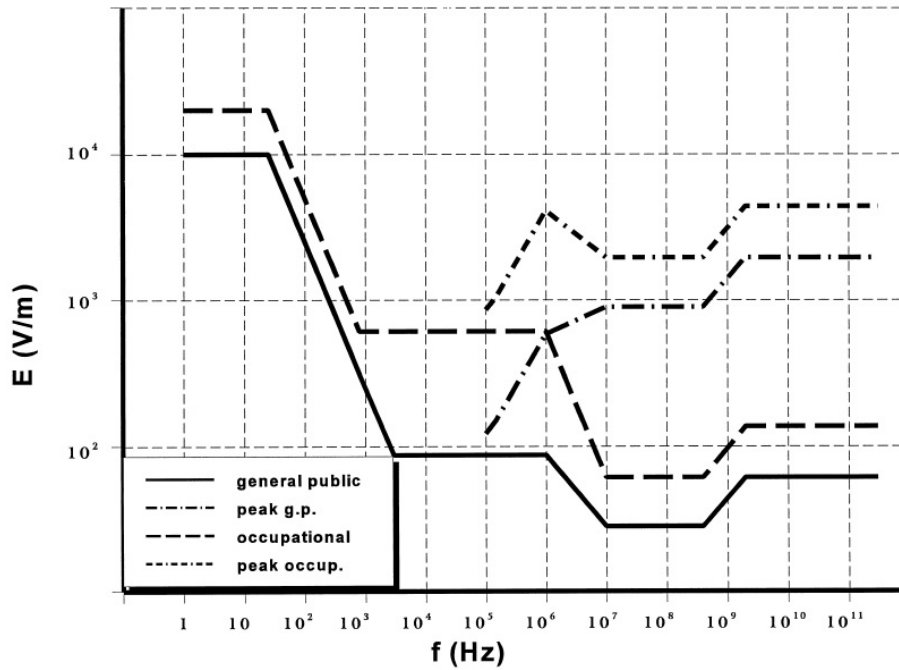
Not: f frekans kolonundaki değeri almaktadır.

Çizelge 2.6. Genel halk maruziyeti için referans seviyeleri

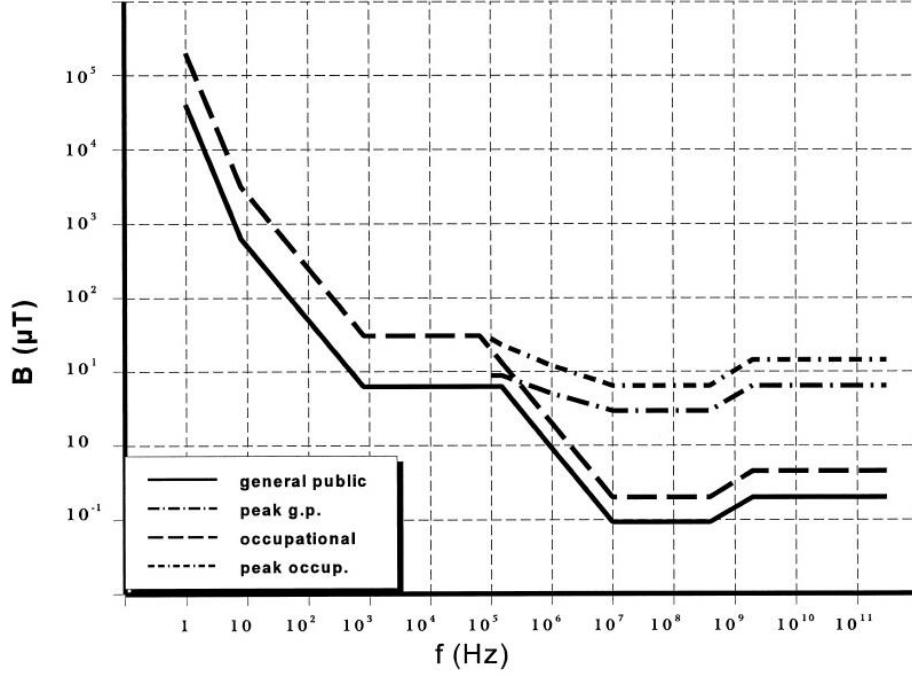
Frekans aralığı	Elektrik alan şiddeti (V/m)	Manyetik alan şiddeti (A/m)
1 Hz'e kadar	-	32000
1 - 8 Hz	10000	$32000/f^2$
8 - 25 Hz	10000	$4000/f$
0.025 - 0.8 kHz	$250/f$	$4/f$
0.8 - 3 kHz	$250/f$	5
3 - 150 kHz	87	5
0.15 - 1 MHz	87	$0.73/f$
1 - 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$
10 - 400 MHz	28	0.073
400 - 2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$
2 - 300 GHz	61	0.16

Not: f frekans kolonundaki değeri almaktadır.

Şekil 2.13'te zamanla değişen E değerlerinin genel halk sağlığı ve mesleki maruziyet için normal ve tepe referans seviyeleri yer almakta ve Şekil 2.14'te ise zamanla değişen B değerlerinin genel halk sağlığı ve mesleki maruziyet için normal ve tepe referans seviyeleri bulunmaktadır.



Şekil 2.13. Zamanla değişen elektrik alan şiddeti değerleri için referans seviyeleri



Şekil 2.14. Zamanla değişen manyetik akı yoğunluğu değerleri için referans seviyeleri

Farklı frekanslara sahip birçok alana eşzamanlı maruziyetin tespiti çok önemlidir. Bu durumda bu eşzamanlı maruziyetlerin birbirine katkı sağlayıcı etkileri olabilmektedir. Bu katkı sağlayıcılık durumunun netleşmesi için termal ve elektriksel uyarım etkileri ayrı ayrı incelenmeli ve temel kısıtlamaların aşılmadığı tespit edilmelidir. İlgili formüller ve yararlanılan Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8 aşağıda yer almaktadır [28].

Çizelge 2.7. 10 GHz'e kadar zamanla değişen elektrik alan şiddeti ve manyetik alan şiddeti için temel kısıtlamalar

Maruziyet karakteristikleri	Frekans aralığı	Kafa ve gövde için akım yoğunluğu (mA/m^2) (rms)	Tüm vücut ortalama SAR (W/kg)
Mesleki maruziyet	1 Hz'e kadar	40	-
	1 – 4 Hz	$40/f$	-
	4 Hz – 1 kHz	10	-
	1-100 kHz	$f/100$	-
	100 kHz – 10 MHz	$f/100$	0.4
	10 MHz – 10 GHz	-	0.4
Genel halk maruziyeti	1 Hz'e kadar	8	-
	1 – 4 Hz	$8/f$	-
	4 Hz – 1 kHz	2	-
	1-100 kHz	$f/500$	-
	100 kHz – 10 MHz	$f/500$	0.08
	10 MHz – 10 GHz	-	0.08

Not: f hertz olarak değer almaktadır.

Çizelge 2.8. 10 GHz ile 300 GHz frekansları arasında güç yoğunluğu için temel kısıtlamalar

Maruziyet karakteristikleri	S (W/m ²)
Mesleki maruziyet	50
Genel halk maruziyeti	10

10 MHz'e kadar elektriksel uyarım için endüklenen akım yoğunluğu 2.36 nolu denklemde yer almaktadır.

$$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1 \quad (2.36)$$

2.36 nolu denklemde yer alan J_i , i frekansında endüklenen akım yoğunluğunu simgelemektedir. $J_{L,i}$ ise Çizelge 2.7'de yer alan i frekansında endüklenen akım yoğunluğu referans seviyesini temsil etmektedir.

100 kHz ile 300 GHz arasında SAR ve S değerlerinin termal etkisinin hesaplanmasında 2.37 nolu denklem dikkate alınır.

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{10 \text{ GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1 \quad (2.37)$$

2.37 nolu denklemde yer alan SAR_i , i frekansında maruziyetin neden olduğu SAR değerini ifade etmektedir. SAR_L ise Çizelge 2.7'de yer alan SAR referans seviyelerini göstermektedir. Yine aynı denklemde yer alan S_i i frekansındaki güç yoğunluğunu ve S_L ise Çizelge 2.8'de yer alan güç yoğunluğu referans seviyelerini temsil etmektedir [28].

Temel kısıtlamaların pratik uygulaması için E ve H değerleri ile elektriksel uyarım ve termal etkilerinin hesaplandığı denklemler aşağıda verilmiştir. 10 MHz'e kadar endüklenen J ve elektriksel uyarım etkileri için 2.38 ile 2.39 nolu denklemlerin sağlanması gerekmektedir [28].

$$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1 \quad (2.38)$$

ile

$$\sum_{j=1 \text{ Hz}}^{65 \text{ kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65 \text{ kHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1 \quad (2.39)$$

2.38 nolu denklemde yer alan E_i , i frekansındaki elektrik alan şiddetini göstermektedir ve $E_{L,i}$ ise Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da yer alan elektrik alan şiddeti referans seviyelerini ifade etmektedir. a değeri mesleki maruziyet için 610 V/m ve genel halk maruziyeti için ise 87 V/m'yi temsil etmektedir. 2.39 nolu denklemde yer alan H_j , j frekansındaki manyetik alan şiddetini göstermektedir ve $H_{L,j}$ ise Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da yer alan manyetik alan şiddeti referans seviyelerini ifade etmektedir. b değeri mesleki maruziyet için 24.4 A/m (30.7 μ T) ve genel halk maruziyeti için ise 5 A/m'yi (6.25 μ T) temsil etmektedir.

100 kHz ile 300 GHz arasında termal etki göz önünde tutulduğunda 2.40 ve 2.41 nolu denklemlerin [28] aşılmaması gerekmektedir.

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 \leq 1 \quad (2.40)$$

ile

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}}\right)^2 \leq 1 \quad (2.41)$$

2.40 nolu denklemde yer alan E_i , i frekansındaki elektrik alan şiddetini göstermektedir ve $E_{L,i}$ ise Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da yer alan elektrik alan şiddeti referans seviyelerini ifade etmektedir. c değeri mesleki maruziyet için 610/f V/m ve genel halk maruziyeti için ise 87/f^{1/2} V/m'yi temsil etmektedir. 2.41 nolu denklemde yer alan H_j , j frekansındaki manyetik alan şiddetini göstermektedir ve $H_{L,j}$ ise Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da yer alan manyetik alan şiddeti referans seviyelerini ifade etmektedir. d değeri mesleki maruziyet için 1.6/f A/m ve genel halk maruziyeti için ise 0.73/f A/m'yi temsil etmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Mobil ölçümler Türkiye'nin en kalabalık şehirlerinden biri olan Diyarbakır İl Merkezi'nde 10 Kasım 2014 ile 16 Kasım 2014 tarihleri arasında her gün saat 17:00 ile 18:20 arasında yapılmıştır. Mobil ağ operatörlerinin konuşma trafiği olarak en yoğun saati yaklaşık 17:00 olduğu bilgisi alınmıştır. Böylece mobil ölçüm saatleri buna göre düzenlenmiştir. Ölçümlerde dış ortamda önemli RF EMA kaynaklarından olan ve Çizelge 1.1'de gösterilen FM, karasal TV3, karasal TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandı olmak üzere altı band eşzamanlı olarak ölçülmüştür.

Mobil ölçümlerde dış ortaman RF EMA değerlerinin ölçümünde kullanılmak üzere bir adet spektrum analizör cihazı, üç eksenli elektrik alan anteni ve bağlantı kabloları kullanılmıştır. Ayrıca spektrum analizör cihazını beslemek için bir adet güç kaynağından yararlanılmış ve spektrum analizör cihazından RF EMA ölçüm değerlerini almak ve kaydetmek için de bir adet dizüstü bilgisayarı kullanılmıştır.

Mobil ölçüm yöntemi ile Diyarbakır İl Merkezi'ndeki işlek ana caddelerde ölçümler yapılmış ve daha sonra elde edilen ölçüm sonuçları sayısal harita üzerinde renkli olarak görselleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen RF EMA ölçüm değerleri istatistiksel olarak detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Spektrum analizör cihazı

Mobil ölçümlerde kullanılan spektrum analizör cihazı 9 kHz ile 6 GHz frekans bandında çalışan yüksek hassasiyete sahip portatif bir cihazdır. Narda firması [92] tarafından SRM-3006 olarak adlandırılan portatif spektrum analizör cihazı [93] yüksek frekanslı elektromanyetik alan ölçümlerinde kullanılmaktadır. Genlik Modülasyonu - Amplitude Modulation (AM), FM, TV, GSM, UMTS, Uzun Süreli Gelişim - Long Term Evolution (LTE), radar, kablosuz yerel alan ağ - Wireless Local Area Network (WLAN) ve Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik - Worldwide Interoperability for Microwave Access (WIMAX) gibi yayınlar SRM-3006 spektrum analizör cihazı ile ölçülebilmektedir [93]. Şekil 3.1'de SRM-3006 spektrum analizör cihazı yer almaktadır.



Şekil 3.1. SRM-3006 spektrum analizör cihazı

SRM-3006 spektrum analizör cihazı ortamdaki toplam RF EMA değerini göstermekle birlikte bu ortama katkı sağlayan diğer bandların da değerlerini ayrı ayrı gösterme kabiliyetine sahiptir. SRM-3006 spektrum analizör cihazı normal bir spektrum analizör cihazının tüm özelliklerini taşımanın yanında ayrıca düşük çözünürlük band aralığında yüksek ölçüm hızına sahiptir. Cihazın elle taşınabilir ölçekte olması ve şarj edildikten sonra kabloya ihtiyaç duymaması gibi özelliklerinden dolayı çok zor koşullarda dahi ölçüm yapma imkânı sağlanmaktadır.

SRM-3006 spektrum analizör cihazı spektrum analizi modundayken frekans bandı üzerinden integral alma özelliğine sahiptir. Böylece kanal gücü hesabı yapılabilinmektedir. Seviye kayıt modunda ortamdaki sinyalin anlık, maksimum ve ortalama gibi değerleri saklanabilinmektedir. Ayrıca scope modundayken sinyaller gerçek zamanlı veya 24 saate varan uzun periyodlar üzerinde analiz edilebilinmektedir.

3.1.2. Elektrik alan anteni

Üç eksenli elektrik alan anteni 27 MHz ile 3 GHz frekans aralığında ortamdaki elektrik alan değerini izotropik olarak yani üç eksenle otomatik olarak ölçmeye imkân sağlayan yüksek doğruluğa sahip özel bir antendir. Bununla birlikte herhangi bir eksenle ayrı ayrı elektrik alan ölçümü yapmakta mümkündür. Şekil 3.2’de Narda [93] firmasına ait üç eksenli elektrik alan anteni yer almaktadır.



Şekil 3.2. Üç eksenli elektrik alan anteni

Üç eksenli elektrik alan antenin dinamik ölçüm aralığı 0.2 mV/m ile 200 V/m arasında ve 85 MHz - 2200 MHz frekans aralığında $+2.6/-3.8\text{ dB}$ azami genişletilmiş ölçüm belirsizliğine sahiptir. Her frekans için anten faktörü [94] otomatik olarak ayrı ayrı değerlendirildiğinden daha doğru elektrik alan ölçümüne olanak sağlanmaktadır. Ayrıca SRM-3006 spektrum analizör cihazı Narda firmasına ait üç eksenli elektrik alan antenini tanımakta ve anten parametrelerini otomatik olarak almaktadır.

Antenin özel tasarımı sayesinde dış ortamda ve ulaşılması zor olan koşullarda ölçüm yapmak kolaylaşmaktadır. Ayrıca ağırlığının hafif olması da taşımada kolaylık sağlamaktadır.

3.1.3. Bağlantı kabloları

Bağlantı kabloları 9 *kHz* ile 6 *GHz* frekans aralığında ölçüm yapmaya olanak sağlayan 1.5 metre uzunluğunda özel kablolardır. Bağlantı kabloları Şekil 3.3'te görüldüğü gibi üzerinde bulundurmuş olduğu ferrit boğumlar sayesinde ölçüm aralığı dışındaki alanların bozucu etkilerini azaltan bir özelliğe sahiptir [93].



Şekil 3.3. Bağlantı kabloları

Bununla birlikte kontrol kablosu anten tipi, seri numarası, kalibrasyon tarihi ve zayıflama faktörlerinin listesi gibi anten parametre bilgilerini [93] üç eksenli elektrik alan anteni ile SRM-3006 spektrum analizör cihazı arasında taşıyan çok uçlu bir kablodur. Yine bu kablo sayesinde SRM-3006 spektrum analizör cihazı her eksenin ardışıl ölçümü ile izotropik sonuca yani üç eksenli ölçüm sonucuna varabilmektedir.

3.1.4. Dizüstü bilgisayarı ve güç kaynağı

Tez çalışmasında kullanılan dizüstü bilgisayarı [95] öncelikle SRM-3006 spektrum analizör cihazından mobil ölçümü yapılan altı bandın eşzamanlı olarak maksimum anlık elektrik alan değerlerini, tarih, saat, enlem ve boylam gibi bilgilerini 10'ar saniye aralıklarla otomatik olarak alınmasını sağlayan programın yazılımında kullanılmıştır. Programın yazılımı ve optimizasyonundan sonra yine aynı dizüstü bilgisayarı bir hafta boyunca şehir merkezinde yapılan mobil ölçümlerde gerçek zamanlı olarak daha önce bahsi geçen ölçüm değerlerinin kaydedilmesinde kullanılmıştır.

Mobil ölçümler sırasında SRM-3006 spektrum analizör cihazı ile dizüstü bilgisayarının ihtiyaç duymuş olduğu güç gereksinimi 300 *watt*'lık çıkış gücüne sahip olan Orbus marka güç kaynağından sağlanmıştır. Güç kaynağı da mobil ölçümlerin yapılmasında kullanılan aracın çakmaklık girişinden beslenmiştir. Böylece uzun süren mobil ölçümler kesintiye uğramadan tamamlanmıştır.

3.1.5. Yazılım

SRM-3006 spektrum analizör cihazından yaklaşık 10'ar saniye aralıklarla ölçüm tarihi, saati, enlem ve boylam koordinatları, FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandlarının maksimum anlık elektrik alan değerleri eşzamanlı olarak Dev-C++ programlama dilinde [96] yazmış olduğumuz yazılım sayesinde dizüstü bilgisayarına txt uzantılı dosya olarak kaydedilmiştir. Bu yazılım bahsi geçen verileri SRM-3006 spektrum analizör cihazından alırken Ek 1'de verilen SRM-3006 spektrum analizör cihazına ait seri port komutların bir kısmını kullanmıştır. Ayrıca yazılımın saha ortamında testi için yaklaşık bir hafta boyunca mobil ölçümler alınarak optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Mobil ölçüm yöntemi

Mobil ölçüm yönteminde, üç eksenli elektrik alan anteni metal olmayan vakumlu bir alet yardımı ile Şekil 3.4’te görüldüğü gibi ölçümlerde kullanılan aracın üzerine sabitlenmiştir. Antenin yerden yüksekliği yaklaşık 1.70 metredir. Ölçümler insanların zamanlarının bir kısmını geçirdiği şehir merkezindeki işlek ana caddelerde yapılmıştır.



Şekil 3.4. Mobil ölçüm sistemi

Üç eksenli elektrik alan anteni 1.5 metre uzunluğundaki bağlantı kabloları ile SRM-3006 spektrum analizör cihazına bağlanmıştır. Yine benzer şekilde dizüstü bilgisayarı da ölçüm verilerini gerçek zamanlı almak üzere SRM-3006 spektrum analizör cihazına bağlanmıştır. Üç eksenli elektrik alan anteni hariç diğer tüm cihazlar aracın içine yerleştirilmiştir.

Tüm mobil ölçümler uzak alan bölgesinde yapılmıştır. Uzak alan bölgesinde S , E ve H arasındaki ilişki 2.33 nolu denklemde verilmiştir. Bu tez çalışmasında, RF EMA maruziyet seviyesi olarak E değeri ölçülmüştür. Daha önce de bahsedildiği gibi SAR ve diğer bazı temel kısıtlamaların ölçümlerinde karşılaşılan zorluklarından dolayı uygulamada E değerini ölçmek daha kolaydır.

Mobil ölçümler en kötü ihtimaller göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Öyleki altı bandın maksimum anlık E değerleri eşzamanlı olarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Yani her bir bandın en yüksek anlık E değeri referans alınmıştır. Çizelge 1.1’de yer alan bu altı bandın oluşturmuş olduğu maksimum anlık toplam E değeri ise aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanmıştır. Yani en yüksek anlık toplam maruziyet seviyesi altı bandın etkin değerlerinin toplamı ile hesaplanmıştır.

$$E_{TOTAL} = \sqrt{E_{FM}^2 + E_{TV3}^2 + E_{TV4-5}^2 + E_{GSM900}^2 + E_{GSM1800}^2 + E_{UMTS}^2} \quad (3.1)$$

3.1 nolu denklemde yer alan E_{TOTAL} maksimum anlık toplam E değerini göstermektedir. Diğerleri ise her bir bandın maksimum anlık E değerlerini ifade etmektedir.

Mobil ölçümlerde kullanılan aracın ortalama hızı yaklaşık saatte 40 kilometredir. Aracın ortalama hızının bundan daha düşük olması trafik sıkışıklığına neden olduğundan daha yavaş gidilmemiştir. Buna karşın aracın ortalama hızının bundan daha büyük olması da alınan ölçüm örnek sayısının azalmasına neden olacağından dolayı tercih edilmemiştir. Mobil ölçümlerde kullanılan ölçüm güzergâhı Şekil 3.5’te görüldüğü gibi uydu haritası üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Mobil ölçüm yönteminde kullanılan güzergâh

Narda firması ölçümlerin daha doğru ve sağlıklı yapılabilmesi için SRM-3006 spektrum analizör cihazının kullanma kılavuzunda çözünürlük band genişliğinin - Resolution Bandwidth (RBW) [93] ölçümü yapılacak olan bandın kanal band genişliğinin dörte biri veya daha düşük değerde olması gerektiğini önermektedir. Bu nedenle FM, GSM 900 ve GSM 1800 bandları için RBW değeri 50 *kHz*'e ayarlanmıştır. Diğer yandan karasal TV3, karasal TV4-5 ve UMTS bandı için ise RBW değeri 1000 *kHz*'e ayarlanmıştır.

3.2.2. Haritalandırma

Mobil ölçüm değerlerinin sayısal uydu haritası üzerinde günlük olarak göstermenin birçok faydası vardır. Günlük olarak RF EMA değişimini görmek, en yüksek ölçüm değerlerinin yerini tespit etmek veya kreş, okul, hastane gibi bazı özel yerlerin çevresindeki ölçüm değerlerini görsel olarak takip etmek bunlardan sadece bazılarıdır.

10 Kasım 2014 ile 16 Kasım 2014 tarihleri arasında yapılan günlük mobil ölçümlerde eşit değerlendirme amacıyla elde edilen ölçüm örnek sayıları günlük 472 ve haftalık ise 3304 adete eşitlenmiştir. Daha sonra maksimum anlık toplam *E* değerleri, tarih, zaman, enlem ve boylam gibi ölçüm bilgilerini içeren dosyalar her gün için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu dosyalar sayısal harita programı olan MapInfo [97] programına yüklenmiştir. Böylece, her gün için bir tematik harita hazırlanmıştır.

Mobil ölçümlerde elde edilen altı bandın 3.1 nolu denkleme uygulanması ile hesaplanan maksimum anlık toplam *E* değerleri sayısal uydu haritası üzerinde gösterilmek üzere 5 ayrı grupta ve renkte sınıflandırılmıştır. Yani sifıra eşit veya büyük ve birden küçük maksimum anlık toplam *E* değerleri beyaz renkte ve yuvarlak daire şeklinde gösterilmiştir. Bu grup aynı zamanda en küçük *E* değerlerini içermektedir. Bire eşit veya büyük ve ikiden küçük maksimum anlık toplam *E* değerleri yeşil renkte ve yuvarlak daire şeklinde gösterilmiştir. İkiye eşit veya büyük ve üçten küçük maksimum anlık toplam *E* değerleri mavi renkte ve yuvarlak daire şeklinde gösterilmiştir. Üçe eşit veya büyük ve dörtten küçük maksimum anlık toplam *E* değerleri sarı renkte ve yuvarlak daire şeklinde gösterilmiştir. Dörde eşit veya büyük ve sekizden küçük maksimum anlık toplam *E* değerleri kırmızı renkte ve yuvarlak daire şeklinde gösterilmiştir. Bu grup aynı zamanda en büyük *E* değerlerini içermektedir.

Şekil 3.6'da 5 ayrı grupta ve renkte sınıflandırılan maksimum anlık toplam elektrik alan şiddeti değerleri gösterilmiştir.

- **4 (V/m) =< Maksimum ani toplam E < 8 (V/m)**
- **3 (V/m) =< Maksimum ani toplam E < 4 (V/m)**
- **2 (V/m) =< Maksimum ani toplam E < 3 (V/m)**
- **1 (V/m) =< Maksimum ani toplam E < 2 (V/m)**
- **0 (V/m) =< Maksimum ani toplam E < 1 (V/m)**

Şekil 3.6. Maksimum anlık toplam elektrik alan şiddeti sınıfları

10 Kasım 2014 ile 16 Kasım 2014 tarihleri arasında mobil ölçümü yapılan, farklı grup ve renkte gösterilen maksimum anlık toplam E değerleri ile her ölçüm günü için bir tematik harita hazırlanmıştır.

Bunlara ek olarak, Çarşamba gününe ait mobil ölçüm sonuçlarının üç boyutlu ve kontur haritaları yine MapInfo programı [97] desteği ile hazırlanmıştır. Çarşamba günü mobil ölçümü yapılan hafta içerisinde ortalama elektrik alan şiddeti değerinin en yüksek olduğu gün olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle bu güne ait FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800, UMTS ve Toplam bandlarının ayrı ayrı üç boyutlu ve kontur haritaları hazırlanmıştır. Üç boyutlu harita ile her bir band içerisinde en yüksek değerlere sahip elektrik alan şiddeti değerleri harita üzerinde tepeler şeklinde yükseklikler oluşturmaktadırlar. Bu yükseklikler üç boyutlu harita üzerinde açık bir şekilde görülmektedirler. Böylece bu yüksek değerlerin diğer değerlere olan oranı yükseklik farkından dolayı net bir şekilde görsel olarak anlaşılmaktadır. Ayrıca kontur haritaları yardımıyla da en yüksek değerlere sahip elektrik alan şiddeti değerlerinin harita üzerindeki konumu belirgin bir şekilde görülmektedir. Yine bu haritalar kullanılarak elektromanyetik alan kaynağı sayılabilecek yerler tespit edilebilir.

3.2.3. İstatistiksel analiz

Eşzamanlı mobil ölçümü yapılan altı band: FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandı ile bunların 3.1 nolu denkleme göre hesaplanmasıyla elde edilen Toplam band dâhil olmak üzere yedi band istatistiksel olarak analiz edilmiştir. İstatistiksel analizlerde her band için minimum, maksimum, ortalama, standart sapma ve varyans gibi bazı özet istatistiksel veriler hesaplanmıştır. FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800, UMTS ve Toplam bandları için örnek sayısı (adet), aralık, minimum, maksimum, toplam, ortalama, standart sapma ve varyans gibi istatistiksel parametrelerle her mobil ölçüm günü için bir çizelge hazırlanmıştır. Yine her bir band için yedi günlük mobil ölçümler dikkate alınarak her bandın bir haftalık istatistiksel parametrelerini gösteren bir çizelge hazırlanmıştır. Böylece çeşitli istatistiksel yöntemlerle mobil ölçümü yapılan RF EMA bandları arasında ve mobil ölçümü yapılan günler arasında istatistiksel karşılaştırmalar yapılmıştır.

Her bir bandın mobil ölçüm örneklerinin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için normallik testi uygulanmıştır. Bununla birlikte istatistiksel olarak bağımsız değişken kabul edilen altı band arasında homojenliğin tespiti için varyansların homojenliği testi yapılmıştır. Toplam band için ölçümü yapılan haftanın günleri arasında benzerlik olup olmadığını tespit etmek amacıyla Spearman's Rho korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Böylece mobil ölçümü yapılan haftanın günleri arasında birbirine en çok benzeyen ve en az benzeyen günler tespit edilmiştir. Ayrıca her bir mobil ölçüm gününün Spearman's Rho korelasyon katsayıları çizelge halinde gösterilmiştir. Spearman's Rho korelasyon katsayıları +1 ile -1 arasında değer almaktadırlar. Spearman's Rho korelasyon katsayısı +1 ise, bu değişkenler arasında pozitif yönlü mükemmel bir doğrusal ilişkinin olduğunu göstermektedir. Eğer Spearman's Rho korelasyon katsayısı -1 ise, bu da değişkenler arasında negatif yönlü mükemmel bir doğrusal ilişkinin olduğunu göstermektedir. Ancak Spearman's Rho korelasyon katsayısı 0 ise, bu da değişkenler arasında bir doğrusal ilişkinin olmadığını göstermektedir [98].

Tüm bu mobil ölçüm verilerinin istatistiksel analizinde IBM SPSS Statistics Software, version 21 [99] programı kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Üç mobil ağ operatörü Diyarbakır İl Merkezi'nde GSM ve UMTS hizmeti vermektedirler. Bununla birlikte birçok FM ve karasal TV vericisi de şehir merkezinde yayın yapmaktadır. Bu çalışmada özellikle şehir merkezinde maruziyete neden olabilecek başlıca RF EMA kaynakları ölçülmüş, daha sonra ölçüm değerleri görselleştirilmiş ve istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

4.1. Mobil Ölçümlerin Analizi

FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800, UMTS bandları ile Toplam band olmak üzere yedi band istatistiksel olarak günlük ve haftalık olarak incelenmiştir. İstatistiksel veriler Çizelge 4.1 ile Çizelge 4.8 arasında gösterilmiştir. Çizelgelerde ölçüm bandlarının hemen yanında yer alan 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 rakamları sırasıyla ölçümün yapıldığı günleri yani Pazartesi, Salı, Çarşamba, Perşembe, Cuma, Cumartesi ve Pazar günlerini simgelemektedir.

Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi mobil ölçümlerde FM bandı için minimum değer 0.0708 *V/m*, ortalama değer 0.093894 *V/m* ve maksimum değer ise 0.3389 *V/m* olduğu tespit edilmiştir. TV3 bandı için minimum değer 0.0686 *V/m*, ortalama değer 0.081209 *V/m* ve maksimum değer ise 0.0991 *V/m* olduğu ölçülmüştür. TV4-5 bandı için minimum değer 0.1056 *V/m*, ortalama değer 0.139532 *V/m* ve maksimum değer ise 0.6066 *V/m* olduğu tespit edilmiştir. GSM 900 bandı için minimum değer 0.0308 *V/m*, ortalama değer 0.479749 *V/m* ve maksimum değer ise 3.8580 *V/m* olduğu ölçülmüştür. GSM 1800 bandı için minimum değer 0.0519 *V/m*, ortalama değer 0.220632 *V/m* ve maksimum değer ise 2.9440 *V/m* olduğu tespit edilmiştir. UMTS bandı için minimum değer 0.0724 *V/m*, ortalama değer 0.613130 *V/m* ve maksimum değer ise 6.0900 *V/m* olduğu ölçülmüştür. Son olarak, Toplam band için minimum değer 0.1815 *V/m*, ortalama değer 0.895750 *V/m* ve maksimum değer 7.1820 *V/m* olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca Çizelge 4.8'e göre FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandları arasında standart sapma ve varyans değişimi en fazla UMTS bandında gözlemlenmiş ve en az değişim ise TV3 bandında görülmüştür.

Çizelge 4.1. FM bandı için günlük istatistiksel veriler

FM bandı	Adet	Aralık	Minimum	Maksimum	Toplam	Ortalama	Standart sapma	Varyans
FM 10	472	0.1873	0.0715	0.2588	43.6615	0.092503	0.0308720	0.001
FM 11	472	0.2496	0.0716	0.3212	47.9742	0.101640	0.0458448	0.002
FM 12	472	0.2375	0.0708	0.3083	42.9391	0.090973	0.0296948	0.001
FM 13	472	0.2665	0.0724	0.3389	43.5227	0.092209	0.0334997	0.001
FM 14	472	0.2426	0.0725	0.3151	43.3475	0.091838	0.0310948	0.001
FM 15	472	0.2615	0.0728	0.3343	44.3989	0.094065	0.0363030	0.001
FM 16	472	0.2063	0.0715	0.2778	44.3822	0.094030	0.0346676	0.001

Not: İstatistikler %95 güven aralığında hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. TV3 bandı için günlük istatistiksel veriler

TV3 bandı	Adet	Aralık	Minimum	Maksimum	Toplam	Ortalama	Standart sapma	Varyans
TV3 10	472	0.0288	0.0703	0.0991	38.4843	0.081535	0.0043077	0.000
TV3 11	472	0.0230	0.0688	0.0918	38.3662	0.081284	0.0039927	0.000
TV3 12	472	0.0238	0.0711	0.0949	38.3320	0.081212	0.0042121	0.000
TV3 13	472	0.0243	0.0703	0.0946	38.0649	0.080646	0.0038708	0.000
TV3 14	472	0.0234	0.0686	0.0919	38.1743	0.080878	0.0041594	0.000
TV3 15	472	0.0229	0.0717	0.0946	38.4511	0.081464	0.0038377	0.000
TV3 16	472	0.0259	0.0699	0.0957	38.4417	0.081444	0.0040216	0.000

Not: İstatistikler %95 güven aralığında hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. TV4-5 bandı için günlük istatistiksel veriler

TV4-5 bandı	Adet	Aralık	Minimum	Maksimum	Toplam	Ortalama	Standart sapma	Varyans
TV4-5 10	472	0.3083	0.1059	0.4142	64.5858	0.136834	0.0448332	0.002
TV4-5 11	472	0.4624	0.1064	0.5688	67.1116	0.142186	0.0515989	0.003
TV4-5 12	472	0.3213	0.1057	0.4270	65.0472	0.137812	0.0481245	0.002
TV4-5 13	472	0.4263	0.1056	0.5319	65.7191	0.139235	0.0506615	0.003
TV4-5 14	472	0.3206	0.1057	0.4263	65.1860	0.138106	0.0487750	0.002
TV4-5 15	472	0.5006	0.1060	0.6066	67.3246	0.142637	0.0560192	0.003
TV4-5 16	472	0.4670	0.1080	0.5750	66.0397	0.139915	0.0510934	0.003

Not: İstatistikler %95 güven aralığında hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. GSM 900 bandı için günlük istatistiksel veriler

GSM 900 bandı	Adet	Aralık	Minimum	Maksimum	Toplam	Ortalama	Standart sapma	Varyans
GSM 900 10	472	2.8594	0.0316	2.8910	225.7753	0.478338	0.4312111	0.186
GSM 900 11	472	3.0889	0.0321	3.1210	230.1624	0.487632	0.4306846	0.185
GSM 900 12	472	3.8250	0.0331	3.8580	235.3006	0.498518	0.4636433	0.215
GSM 900 13	472	2.1772	0.0308	2.2080	221.1566	0.468552	0.4148358	0.172
GSM 900 14	472	2.4504	0.0336	2.4840	229.4507	0.486124	0.4238145	0.180
GSM 900 15	472	2.8609	0.0342	2.8950	221.1493	0.468537	0.4340354	0.188
GSM 900 16	472	3.1351	0.0329	3.1680	222.0962	0.470543	0.4346786	0.189

Not: İstatistikler %95 güven aralığında hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. GSM 1800 bandı için günlük istatistiksel veriler

GSM 1800 bandı	Adet	Aralık	Minimum	Maksimum	Toplam	Ortalama	Standart sapma	Varyans
GSM 1800 10	472	1.6957	0.0533	1.7490	101.6737	0.215410	0.2206387	0.049
GSM 1800 11	472	2.7386	0.0535	2.7920	100.0886	0.212052	0.2668446	0.071
GSM 1800 12	472	2.6898	0.0532	2.7430	104.4067	0.221201	0.2548263	0.065
GSM 1800 13	472	2.8910	0.0530	2.9440	110.9306	0.235023	0.2713217	0.074
GSM 1800 14	472	1.7811	0.0519	1.8330	101.6694	0.215401	0.2271515	0.052
GSM 1800 15	472	2.0164	0.0536	2.0700	105.7467	0.224040	0.2543026	0.065
GSM 1800 16	472	2.1617	0.0524	2.2140	104.4510	0.221294	0.2443795	0.060

Not: İstatistikler %95 güven aralığında hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. UMTS bandı için günlük istatistiksel veriler

UMTS bandı	Adet	Aralık	Minimum	Maksimum	Toplam	Ortalama	Standart sapma	Varyans
UMTS 10	472	3.1661	0.0729	3.2390	280.1896	0.593622	0.4958261	0.246
UMTS 11	472	4.6792	0.0748	4.7540	293.7641	0.622382	0.5356311	0.287
UMTS 12	472	6.0150	0.0750	6.0900	296.4812	0.628138	0.5753035	0.331
UMTS 13	472	3.9406	0.0724	4.0130	290.9976	0.616520	0.5179273	0.268
UMTS 14	472	3.9470	0.0741	4.0210	291.0592	0.616651	0.5403461	0.292
UMTS 15	472	4.7784	0.0786	4.8570	285.9496	0.605825	0.5459556	0.298
UMTS 16	472	4.3507	0.0753	4.4260	287.3403	0.608772	0.5040396	0.254

Not: İstatistikler %95 güven aralığında hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Toplam bandı için günlük istatistiksel veriler

Toplam bandı	Adet	Aralık	Minimum	Maksimum	Toplam	Ortalama	Standart sapma	Varyans
Toplam 10	472	4.2963	0.1857	4.4820	415.1094	0.879469	0.6093582	0.371
Toplam 11	472	5.6258	0.1872	5.8130	426.5219	0.903648	0.6624128	0.439
Toplam 12	472	6.9973	0.1847	7.1820	432.2767	0.915840	0.7077948	0.501
Toplam 13	472	4.3315	0.1815	4.5130	423.0834	0.896363	0.6349850	0.403
Toplam 14	472	4.6346	0.1824	4.8170	424.0937	0.898504	0.6449695	0.416
Toplam 15	472	5.2334	0.1846	5.4180	420.2633	0.890388	0.6596181	0.435
Toplam 16	472	4.5886	0.1834	4.7720	418.2109	0.886040	0.6302972	0.397

Not: İstatistikler %95 güven aralığında hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Yedi band için bir haftalık istatistiksel veriler

Bandlar	Adet	Aralık	Minimum	Maksimum	Toplam	Ortalama	Standart sapma	Varyans
FM	3304	0.2681	0.0708	0.3389	310.2260	0.093894	0.0350664	0.001
TV3	3304	0.0306	0.0686	0.0991	268.3145	0.081209	0.0040686	0.000
TV4-5	3304	0.5010	0.1056	0.6066	461.0140	0.139532	0.0502562	0.003
GSM 900	3304	3.8272	0.0308	3.8580	1585.0910	0.479749	0.4332338	0.188
GSM 1800	3304	2.8921	0.0519	2.9440	728.9667	0.220632	0.2489943	0.062
UMTS	3304	6.0176	0.0724	6.0900	2025.7815	0.613130	0.5309375	0.282
Toplam	3304	7.0005	0.1815	7.1820	2959.5593	0.895750	0.6500686	0.423

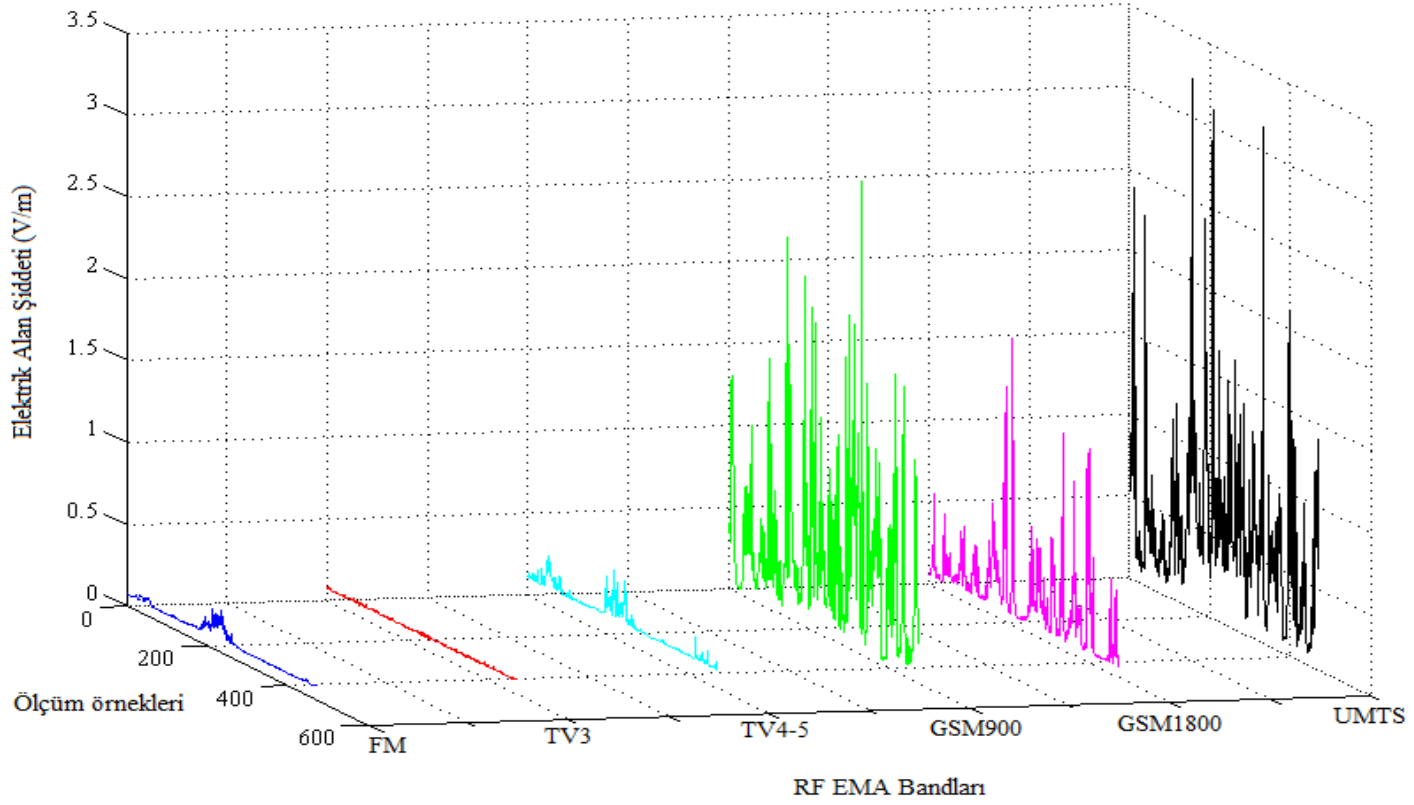
Not: İstatistikler %95 güven aralığında hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8’de görülen altı bandın ortalama değerlerine bakıldığında mobil haberleşme sistemlerine ait baz istasyonlarının şehir merkezindeki RF EMA maruziyet seviyelerinin FM ve karasal TV vericileri gibi sabit sistemlerin maruziyet seviyelerinden daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca TV4-5 yayınlarının şehir merkezindeki maruziyet seviyesi de FM vericilerinin neden olduğu maruziyet seviyesinden ortalama olarak daha yüksek çıkmıştır. Diyarbakır İl Merkezi’nde ortalama değere göre en az maruziyet oluşturan band TV3 bandıdır.

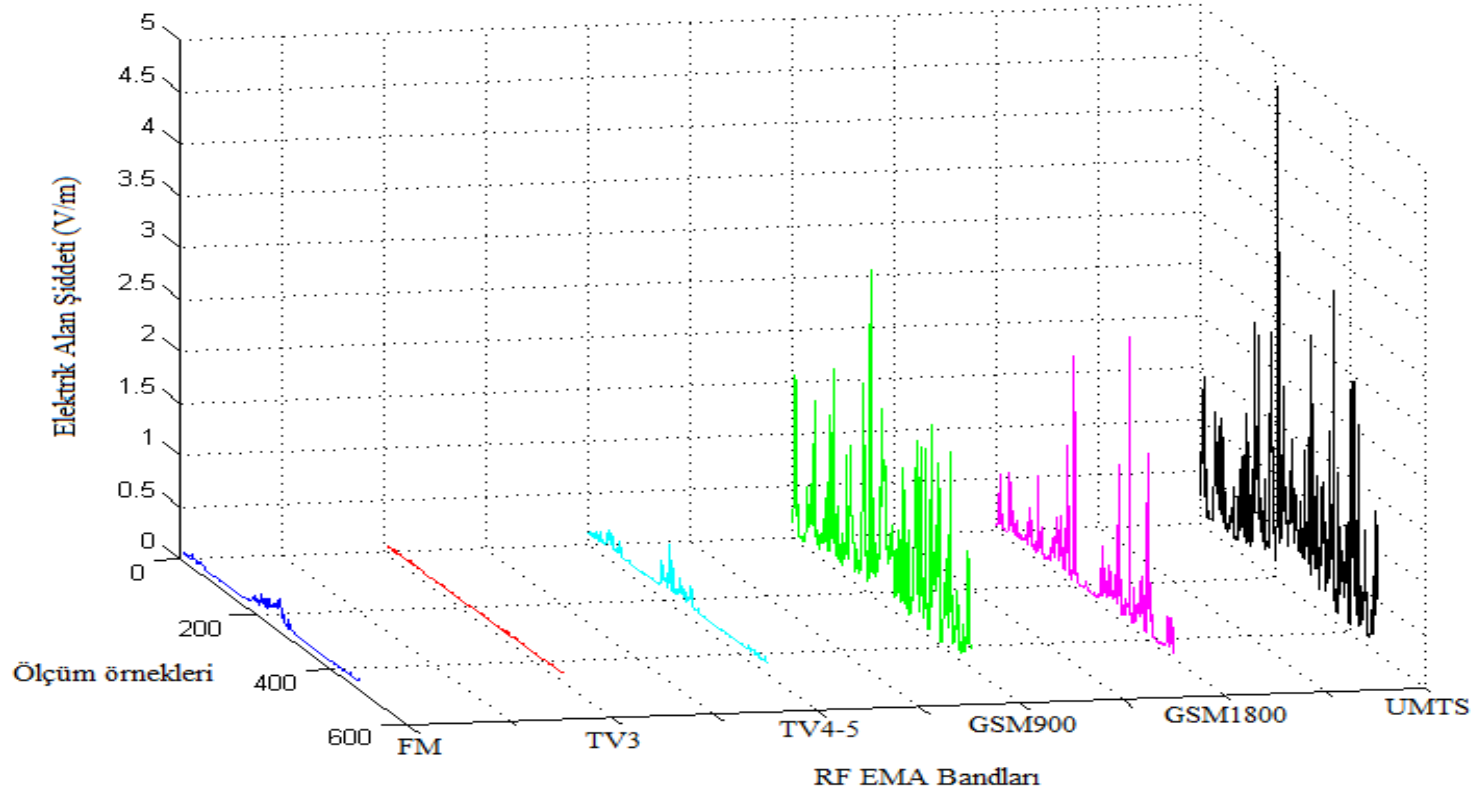
Mobil haberleşme bandları kendi aralarında ortalama değerlere göre kıyaslandığında şehir merkezindeki en büyük maruziyet seviyesi UMTS bandında, daha sonra GSM 900 bandında ve en son GSM 1800 bandında ölçülmüştür.

FM ve karasal TV vericilerinin çıkış gücü baz istasyonlarından daha yüksektir. Ancak FM ve karasal TV vericilerinin şehir merkezindeki maruziyet seviyesi mobil ölçümü yapılan caddelere uzaklığı nedeniyle düşebilmektedir. Ayrıca RF EMA güç yoğunluğunun uzak alanda mesafenin karesi ile ters orantılı olduğu unutulmamalıdır [30]. Buna karşın baz istasyonlarının sayısının FM ve karasal TV vericilerine göre çokluğu ve mobil ölçümü yapılan caddelere yakınlığı gibi nedenlerle şehir merkezindeki baz istasyonlarının maruziyet seviyesi daha yüksek çıkabilmektedir.

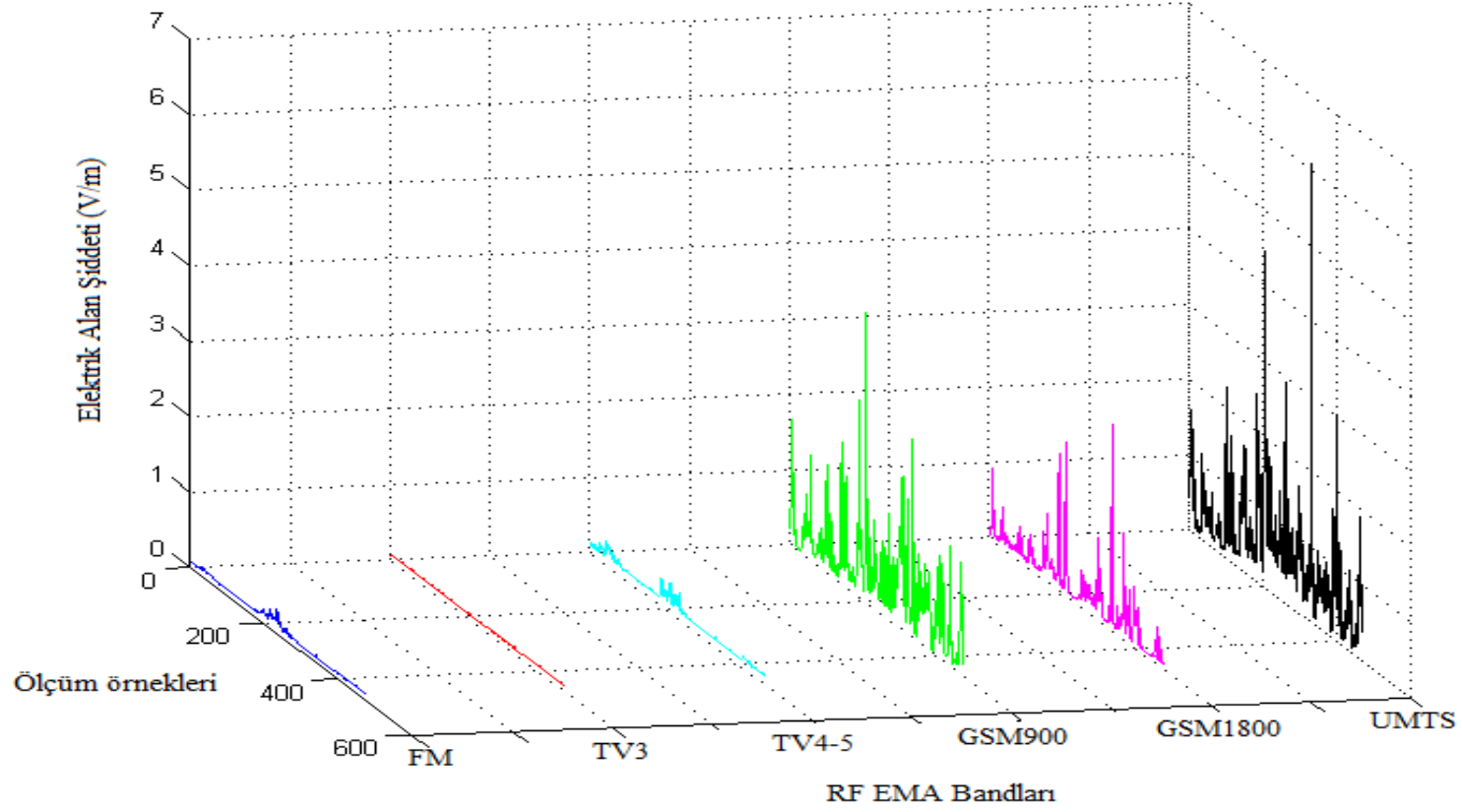
Şekil 4.1’den başlayıp Şekil 4.7’de sonlanan FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandlarının mobil ölçüm örneklerine göre elektrik alan grafikleri Çizelge 4.8’de yer alan bandların ortalama değerleri ile örtüşmektedir. Ayrıca yedi günlük ölçüm örneklerine karşı Toplam bandın elektrik alan grafiği de Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi siyah renk ile gösterilen UMTS bandının elektrik alan grafikleri diğer bandlara nazaran daha yüksek değerlere çıkmaktadır. Bununla birlikte yeşil renk ile gösterilen GSM 900 bandı da lila renk ile gösterilen GSM 1800 bandından daha yüksek değerlere sahiptir. Ayrıca GSM 900, GSM 1800 ve UMTS gibi mobil haberleşme sistemlerinden kaynaklanan maruziyet seviyeleri FM, TV3 ve TV4-5 gibi sabit sistemlerden kaynaklanan maruziyet seviyelerinden daha yüksek olduğu aşağıda yer alan şekillerde açık bir şekilde görülmektedir. Dolayısıyla mobil ölçümü yapılan tüm bandların E değerlerine ait grafikleri ile çizelgelerde yer alan istatistiksel analizleri birbirini teyid etmektedir.



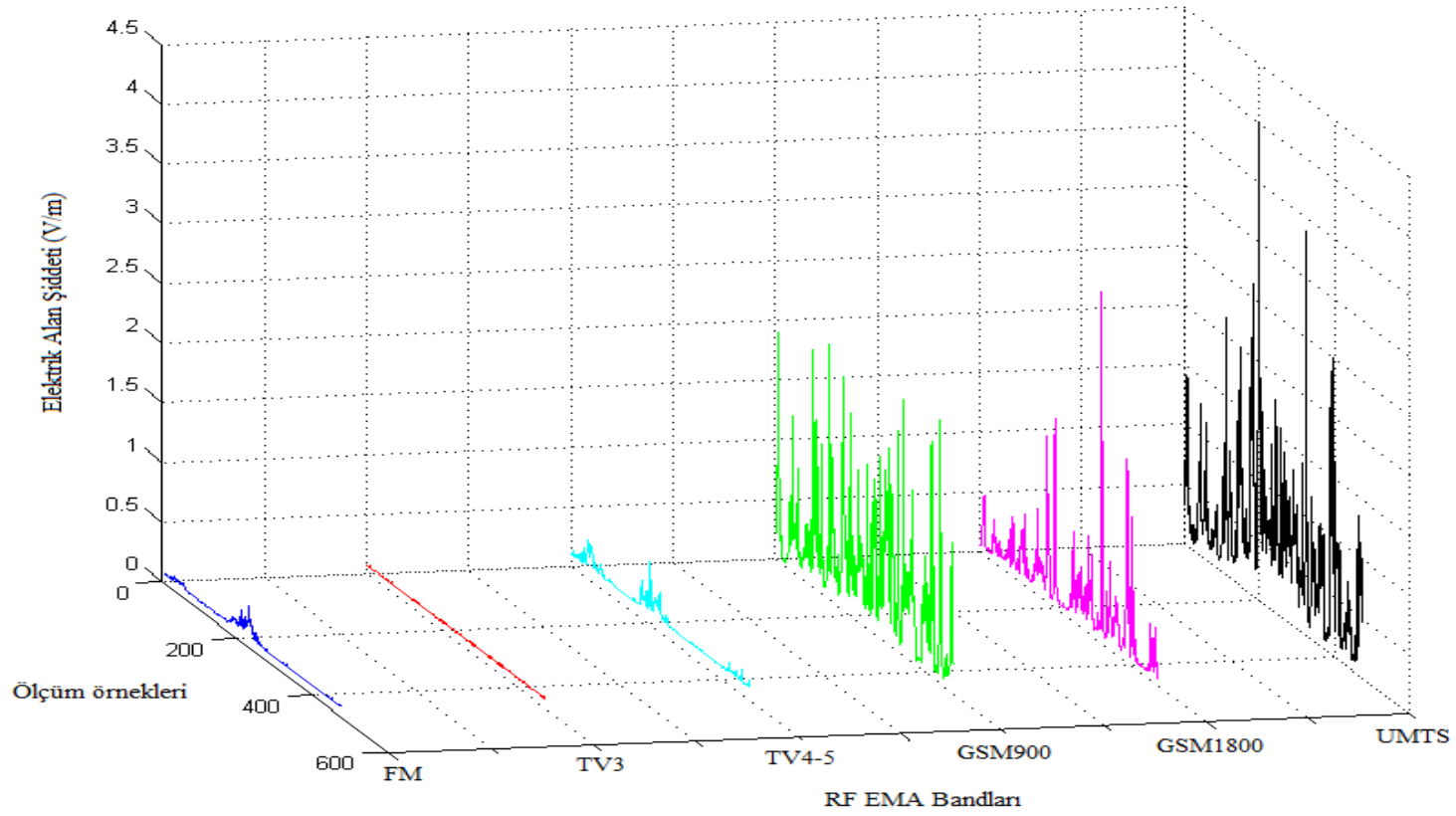
Şekil 4.1. Pazartesi günü (10.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri



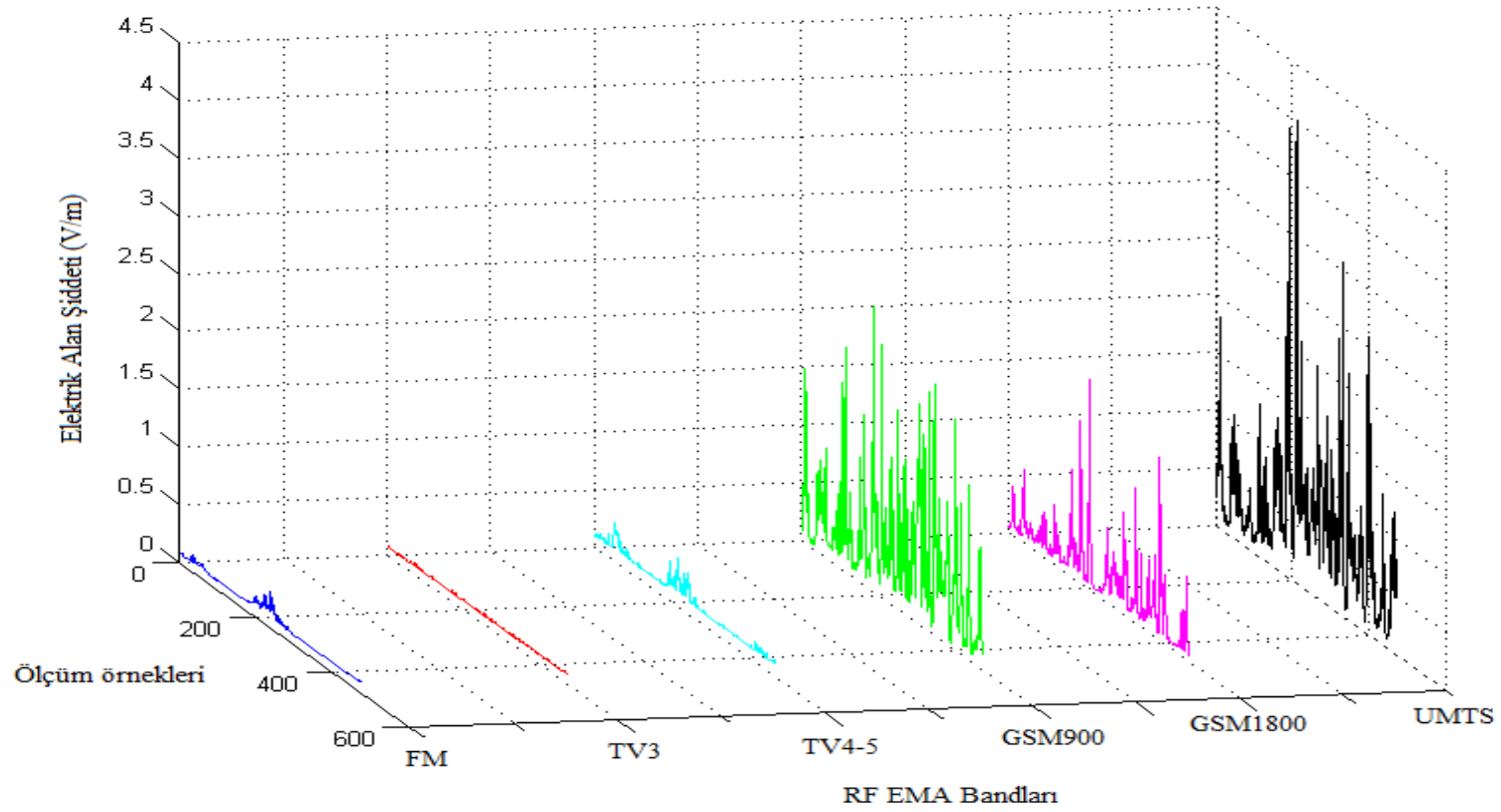
Şekil 4.2. Salı günkü (11.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri



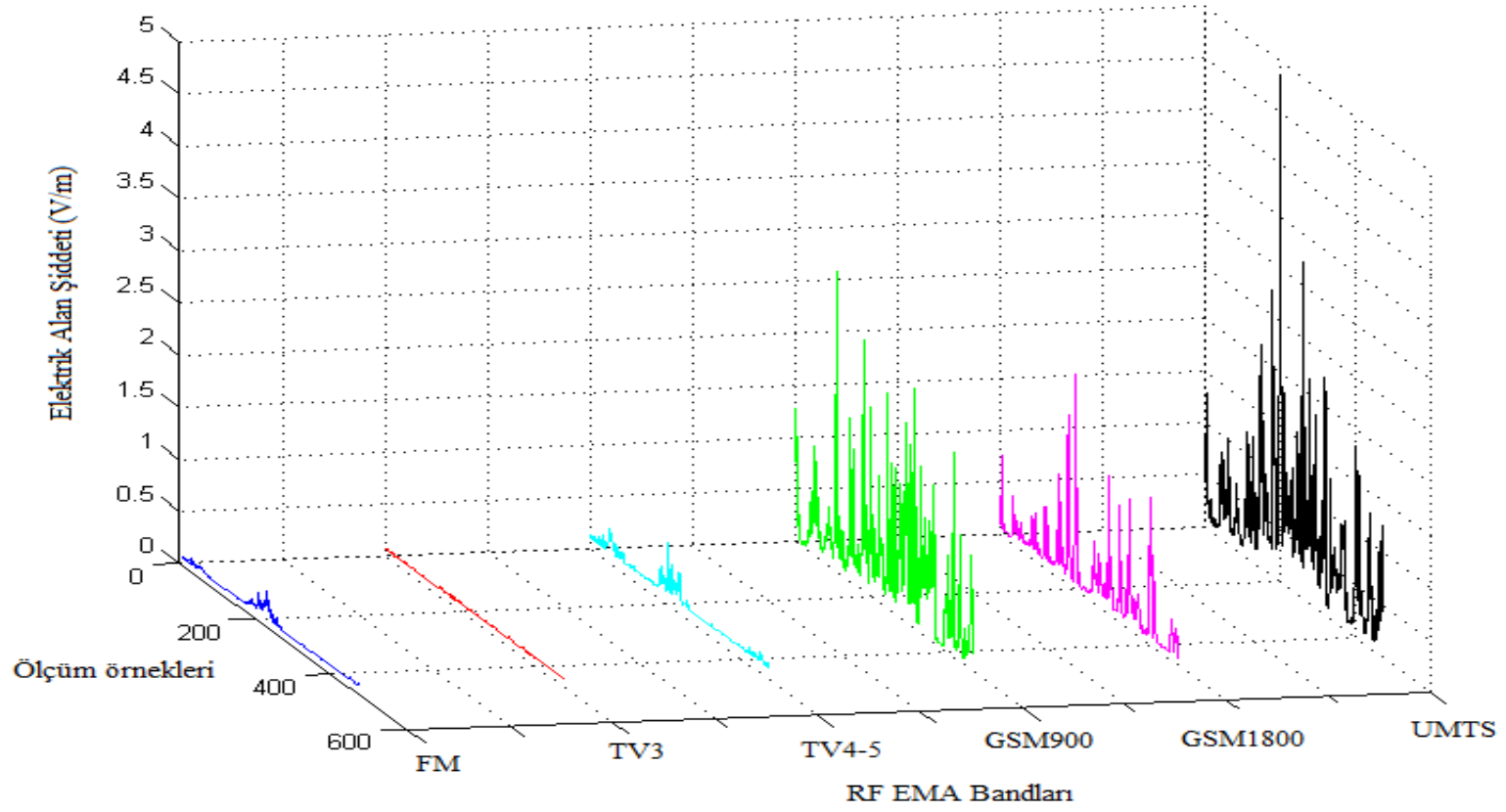
Şekil 4.3. Çarşamba günü (12.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri



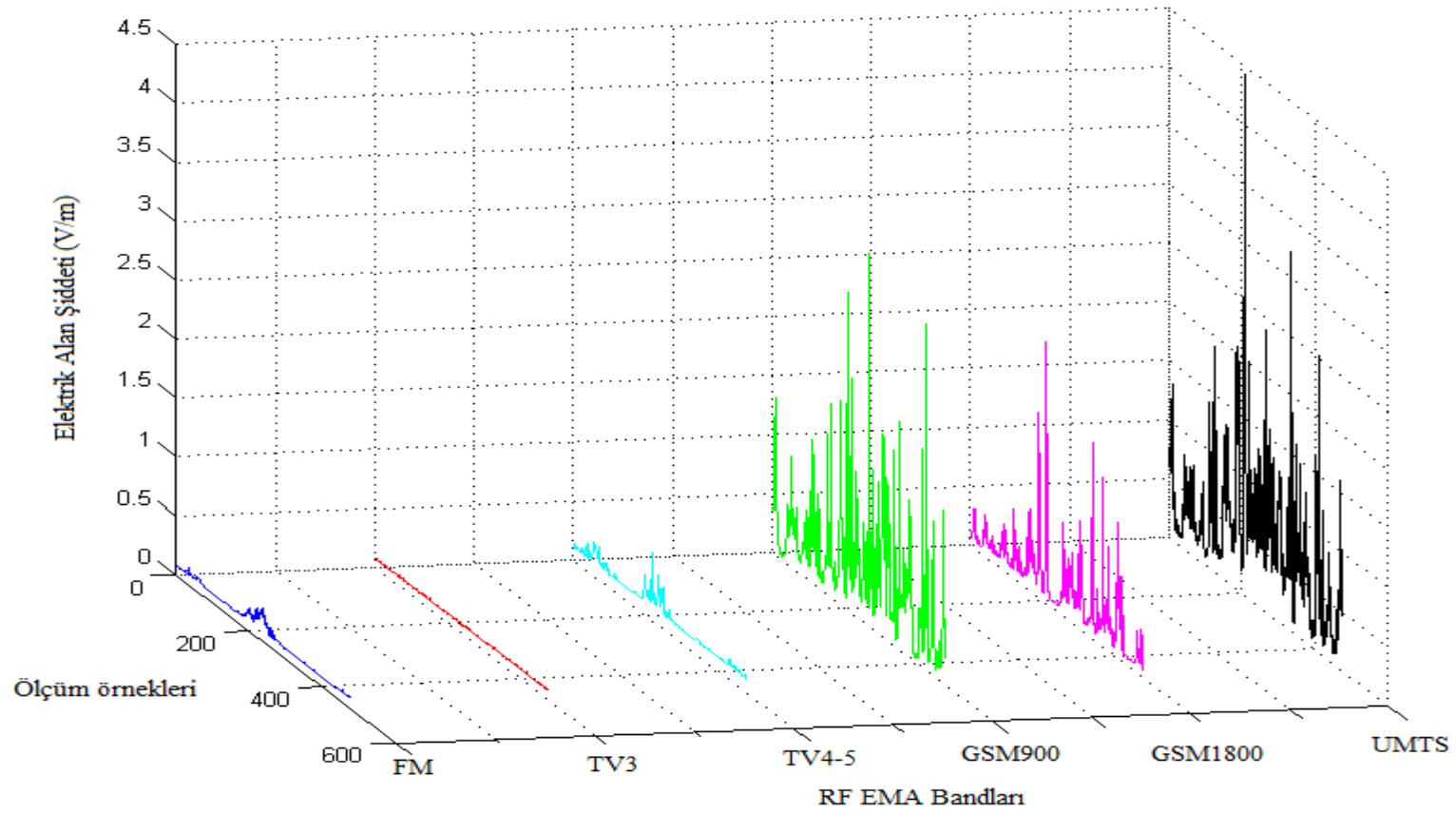
Şekil 4.4. Perşembe günkü (13.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri



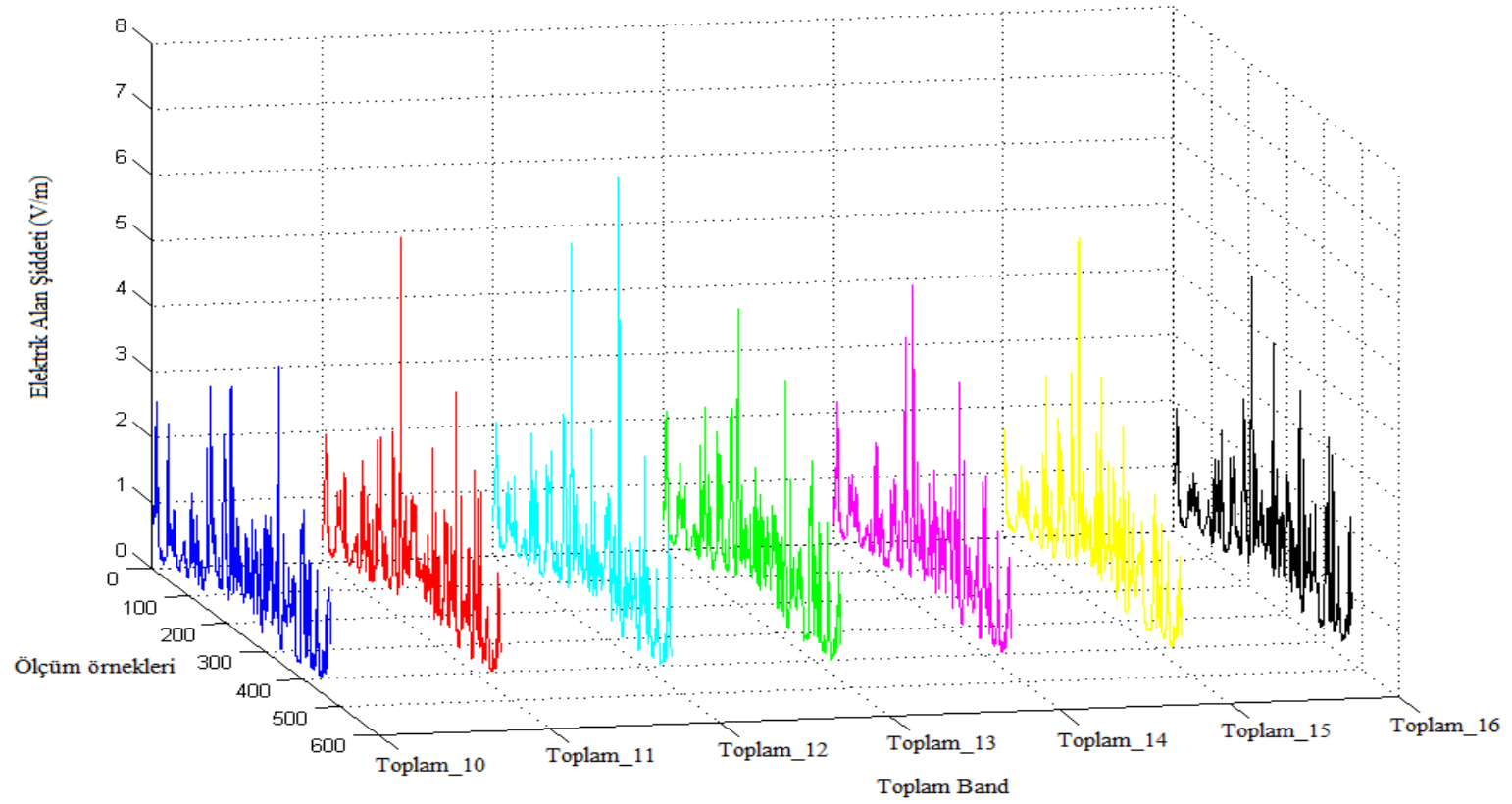
Şekil 4.5. Cuma günü (14.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri



Şekil 4.6. Cumartesi günkü (15.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri



Şekil 4.7. Pazar günü (16.11.2014) ölçüm örneklerine karşı RF bandlara göre elektrik alan şiddeti değerleri



Şekil 4.8. Yedi günlük ölçüm örneklerine karşı Toplam bandın elektrik alan şiddeti değerleri

Baz istasyonlarının kurulduğu yerler FM ve TV vericilerini konumu mahalleden mahalleye, şehirden şehire ve ülkeden ülkeye değişebildiği için ölçülen bandlar için genelleme yapmak mümkün değildir. Ancak istenilen RF EMA bandlarının ölçümü ile herhangi bir yer için bu bandlar arasında kıyaslama yapmak mümkündür.

Çizelge 4.8’de yer alan yedi bandın mobil ölçüm örneklerinin normal dağılıma uyup uymadığını belirlemek için Çizelge 4.9’da görüldüğü gibi Kolmogorov-Smirnov yöntemi [98] kullanılarak normallik testi yapılmıştır.

Çizelge 4.9. Normallik testi

Bandlar	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Statistic	df	Sig
FM	0.298	3304	0.000
TV3	0.017	3304	0.029
TV4-5	0.275	3304	0.000
GSM 900	0.150	3304	0.000
GSM 1800	0.250	3304	0.000
UMTS	0.154	3304	0.000
Toplam	0.136	3304	0.000

a. Lilliefors Significance Correction

Bu çalışmadaki tüm istatistiksel analizler %95 güven aralığında yapılmıştır. Dolayısıyla anlamlılık seviyesi %5 olmaktadır. Çizelge 4.9’da görüldüğü gibi her bandın 3304 mobil ölçüm örneği üzerinden Kolmogorov-Smirnov yöntemi [98] kullanılarak yapılan normallik testinde Sig. değeri yani anlamlılık düzeyi 0.05’in altında kalmaktadır. Bu test sonucunda her band için bir haftalık mobil ölçüm örneklerinin normal dağılım göstermediği tespit edilmiştir.

Buna ek olarak FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandları bağımsız değişken ve Toplam band bağımlı değişken kabul edilerek Çizelge 4.10’da yer alan varyansların homojenliği testi [98] yapılmıştır.

Çizelge 4.10. Varyansların homojenliği testi

Levene Statistic	df1	df2	Sig
1825.139	5	19818	0.000

Varyansların homojenliği testi sonucunda Çizelge 4.10'da yer aldığı gibi Sig. değeri yani anlamlılık düzeyi 0.05'in altında kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bağımsız değişkenler arasında varyansların homojen olmadığı tespit edilmiştir.

Mobil ölçüm örneklerinin normallik testi sonucunda normal dağılmadığı ve varyansların homojenliği testi sonucunda da varyansların homojen olmadığı belirlenmiştir. Dolayısıyla bundan sonra yapılacak olan istatistiksel analizlerin ancak parametrik olmayan testler ile yapılacağı netleşmiştir.

Altı bandın ölçümü sonucundan elde edilen Toplam bandın yedi günlük mobil ölçüm verileri haftanın günleri arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla incelenmiştir. Bu amaçla parametrik olmayan Spearman's Rho korelasyon katsayısı [98] hesaplanmıştır.

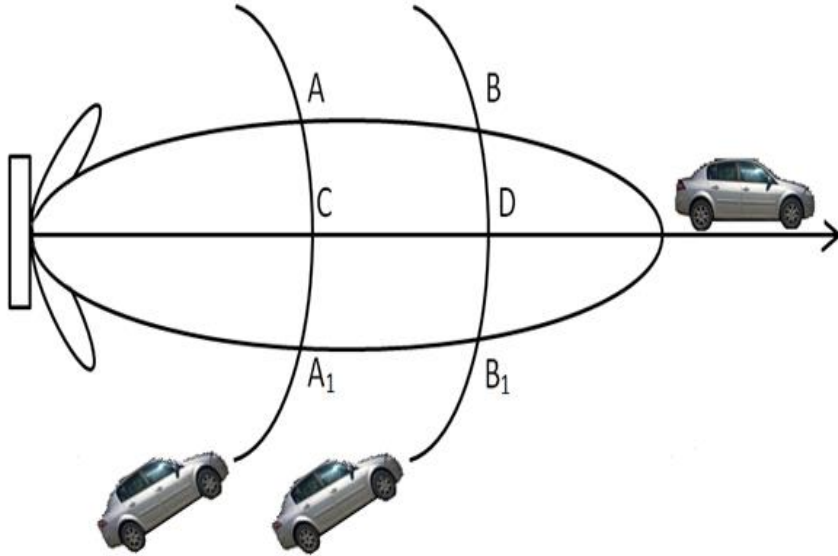
Çizelge 4.11'de görüldüğü gibi Spearman's Rho korelasyon katsayısının en yüksek olduğu değer 0.652'dir. Yani yedi günlük mobil ölçümlerde Toplam band için birbirine en çok benzeyen günler Pazartesi ve Çarşamba günleridir. Daha sonra birbirine en çok benzeyen günler Cuma ve Pazar günleridir. Spearman's Rho korelasyon katsayısının en düşük olduğu değer ise 0.223'tür. Böylece yedi günlük mobil ölçümlerde Toplam band için birbirine en az benzeyen günlerin ise Perşembe ve Pazar günlerinin olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11. Toplam band için Spearman's Rho korelasyon katsayıları

	Toplam 10	Toplam 11	Toplam 12	Toplam 13	Toplam 14	Toplam 15	Toplam 16
Toplam 10	1,000	0.392	0.652	0.399	0.547	0.400	0.550
Toplam 11	0.392	1,000	0.465	0.409	0.377	0.339	0.461
Toplam 12	0.652	0.465	1,000	0.395	0.506	0.375	0.521
Toplam 13	0.399	0.409	0.395	1,000	0.248	0.517	0.223
Toplam 14	0.547	0.377	0.506	0.248	1,000	0.364	0.612
Toplam 15	0.400	0.339	0.375	0.517	0.364	1,000	0.428
Toplam 16	0.550	0.461	0.521	0.223	0.612	0.428	1,000

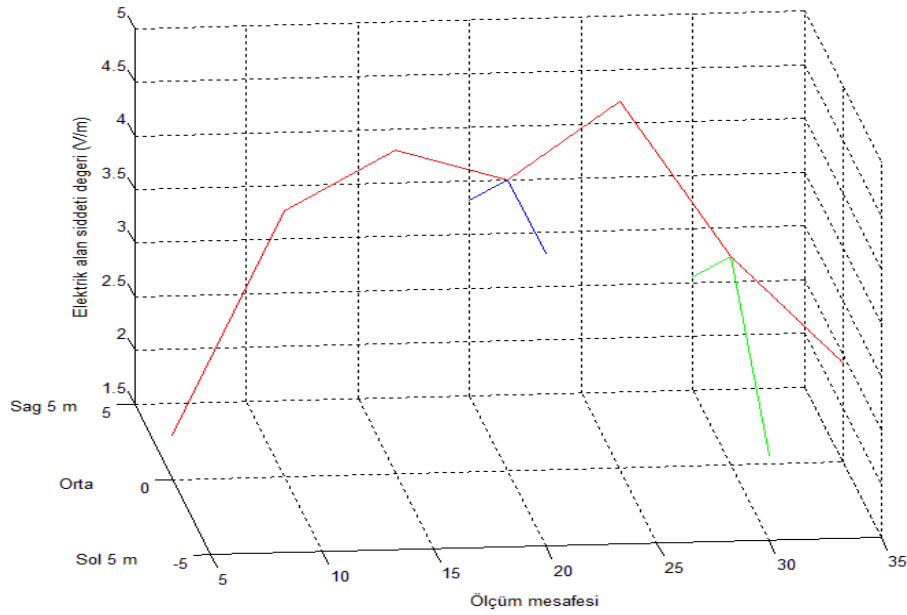
4.2. Mobil Olarak Ölçümleri Yapılan Elektromanyetik Alanların İstatistiksel Analizlerinin Değerlendirilmesi

Baz istasyonlarının yaymış olduğu elektromanyetik alan seviyesinin ortalama güç yoğunluğu (S), elektrik alan şiddeti (E) veya manyetik alan şiddeti (H) değerleri ile belirlenmesinde mobil ölçüm yönteminin avantajlarının yanısıra birçok önemli özellikleri de vardır. Bu özellikler dikkate alınmadığında mobil ölçüm yönteminin sonuçları gerçekçi olmayabilir. Bu özelliklerin en önemlisi baz istasyonlarının genelde insanların yaşam alanlarının içinde yer almasıdır. Baz istasyonlarından uzaklaştıkça elektromanyetik alan zayıflamaktadır. Fakat bu elektromanyetik dalgaların yayılma alanlarında bulunan tüm objeler (Binalar, ağaçlar v.b.) dalgaların kırılmasına veya yansımaya neden olmaktadır. Bu yansıyan dalgalar ise ölçüm cihazının pozisyonuna göre zayıf veya güçlü ölçülebilmektedir. Bu durumda ölçülen elektromanyetik parametreler (S , E veya H) hatalı olabilmektedir. Bahsi geçen hatalar mobil ölçüm sisteminde daha ciddi boyutlara ulaşabilmektedir. Bu nedenle mobil ölçüm sisteminde ölçüm cihazına ulaşan elektromanyetik alanların yerel noktadaki değerlerinin incelenmesi çok önemlidir. Bunun için baz istasyonu antenlerinin yaymış olduğu elektromanyetik alanların mobil ölçüm sistemlerine göre durumlarını değerlendirmek gerekir. Bu değerlendirme Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Bir baz istasyonunun kapsama alanında yapılan mobil ölçüm şeması

Gerçekte antenlerin kapsama alanlarında farklı frekanslara sahip elektromanyetik alanlar (FM, TV, GSM, UMTS v.b.) bulunmaktadır. Mobil ölçüm yönteminde bütün bu frekans spektrumuna ait elektromanyetik alanların anlık hassas ölçümü kolay değildir. Şekil 4.9'daki şema dikkate alındığında elektromanyetik alanların ölçümü ve değerlendirilmesi daha iyi koşullarda yapılabilir. Bu şemaya göre baz istasyonlarının yaydığı elektromanyetik alanların parametreleri (S , E veya H) enine ve boyuna olmak üzere iki yönde ölçülebilir. Enine yönde ölçümler baz istasyonundan belli uzaklıklarda hesaplanmış yarıçaplar üzerinde (AA_1 , BB_1) yapılmaktadır. Ölçümlerin hassasiyeti ve baz istasyonunun etrafındaki arazi yapısına bağlı olarak bu ölçüm çemberleri (mobil ölçüm güzergâhı) 2, 3, 4 ve daha fazla seçilebilir. Boyuna yönde (CD güzergâhı) ölçümlerde ise baz istasyonu antenlerinin yaydığı elektromanyetik alanların yönünde ölçüm yapılmaktadır. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi enine mobil ölçüm yönünde (AA_1 , BB_1) C ve D noktalarındaki elektromanyetik alan değerleri sırasıyla A , A_1 ve B , B_1 noktalarındaki değerlerden daha büyüktürler. Boyuna doğru ölçümlerde de aynı şey geçerlidir ($E_C > E_D$). Fakat bu değişimlerin gradyantlarını değerlendirerek ölçümlerin yayılım koşullarını değerlendirebiliriz. Bu amaçla gerçek baz istasyonu antenlerinin yaydığı elektromanyetik alanların Şekil 4.9'daki yönlere göre yayılımlarının incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.10. Bir baz istasyonu anteninden yayılan elektrik alan şiddeti değerlerinin belli mesafelerde enine ve boyuna ölçümleri

Şekil 4.10'da Diyarbakır İl Merkezi'nde bulunan bir baz istasyonunun Kathrein firmasına ait antenlerinden yayılan elektrik alan şiddeti (E) değerleri ölçülmüştür. Şekil 4.10'da enine yönünde elektrik alan (E) değerlerinde hafif bir dalgalanma olmasına rağmen değerler yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Şekil 4.10'daki ölçümlerin antenden belli bir uzaklıkta bir doğru üzerinde yayıldığı dikkate alındığında mobil ölçümün çembersel güzergâhta yapılması durumunda bu ölçümlerin daha doğrusal olacağı açıkça görülmektedir. Boyuna yönde ölçümlerde ise (kırmızı rekli eğri) elektrik alan (E) değerlerinin antenden uzaklaştıkça daha hızlı değiştiği net olarak görülmektedir. Bu değişimin noktadan noktaya etkin olduğu da açık bir şekilde görülmektedir. Çizelge 4.12'deki enine ve boyuna ölçüm sonuçları dikkate alındığında mobil ölçüm sonuçlarını birbirine kıyaslayarak aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz.

- a) Enine ölçüm – uzun zaman etkili ölçümler
- b) Boyuna ölçümler – kısa zaman veya anlık ölçüm sonuçları

Bunlar göz önünde bulundurulduğunda mobil ölçüm sonuçlarının istatistiksel dağılım parametrelerini değerlendirebiliriz. Çizelge 4.12'de bir baz istasyonundan 5'er metre ara ile ölçülen elektrik alan şiddeti (E), manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğu (S) değerlerinin enine ve boyuna ölçüm sonuçları bulunmaktadır. E , H ve S değerleri altı dakika boyunca ölçülmüş ve ortalama değerleri çizelgeye kaydedilmiştir.

Gerçekte enine ölçümlerde (uzun zaman ölçümü) bile antenin yaydığı elektromanyetik alanların E , H ve S değerleri noktadan noktaya ve zamana bağlı olarak farklı olacaktır. Dahası bölgede bulunan diğer yüksek frekanslı kaynakların etkisi ve baz istasyonlarındaki konuşma trafiğine bağlı olarak erlang değerleri de bu ölçümleri ciddi şekilde etkileyecektir. Fakat bazı koşulları sağlayarak enine ve boyuna yöndeki sinyallerin değişimleri arasında ilişki kurmak mümkündür. Bunun için aşağıdaki koşulların sağlandığı varsayılmıştır.

- a) Mobil ölçüm biriminin (ölçüm sisteminin monte edildiği araç) hareket hızı sabit alınmıştır. $v = sbt$
- b) Ölçümlerin baz istasyonunun kapsama alanında olduğu ve ölçülen sinyalin zayıflama katsayısının yaklaşık olarak sabit olduğu kabul edilmiştir.

Bu durumda, ölçümü yapılan sinyalin (elektromanyetik alanların E , H ve S değerleri) t zamanı anındaki mobil ölçüm noktasındaki olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak yazılabilir [100–102].

$$P(t) = S(t).P_0(t) \quad (4.1)$$

Çizelge 4.12. Bir baz istasyonunun yaydığı elektrik alan şiddeti (E), manyetik alan şiddeti (H) ve güç yoğunluğu (S) değerlerinin enine ve boyuna ölçüm sonuçları

Mesafe	Parametre	Sol 5 Metre	Orta	Sağ 5 Metre
5 Metre	E (V/m)	1.679	1.913	2.330
	H (mA/m)	4.494	5.297	6.492
	S (mW/m ²)	7.554	9.691	15.860
10 Metre	E (V/m)	2.441	3.978	2.753
	H (mA/m)	6.595	10.320	7.576
	S (mW/m ²)	15.940	40.160	21.320
15 Metre	E (V/m)	4.282	4.512	3.097
	H (mA/m)	11.310	12.210	8.169
	S (mW/m ²)	49.900	54.580	25.360
20 Metre	E (V/m)	4.229	4.211	3.325
	H (mA/m)	11.040	11.200	8.560
	S (mW/m ²)	46.930	46.190	29.720
25 Metre	E (V/m)	4.585	4.920	4.150
	H (mA/m)	11.850	12.980	11.140
	S (mW/m ²)	59.080	65.810	46.760
30 Metre	E (V/m)	2.294	3.440	2.552
	H (mA/m)	5.976	9.070	6.801
	S (mW/m ²)	13.860	29.760	18.070
35 Metre	E (V/m)	1.372	2.426	1.810
	H (mA/m)	3.542	6.341	4.387
	S (mW/m ²)	4.945	15.410	7.042

Burada $P_0(t)$ kısa zaman ölçüm değişimini, $S(t)$ ise yerel güç değişimini veya uzun zaman ölçüm değişimini ifade etmektedir.

$$x = v \cdot t \quad (4.2)$$

olduğuna göre x ve t arasındaki ilişkinin doğrusal bir ilişki olduğu dikkate alınarak denklem yeniden düzenlenerek;

$$P(x) = S(x) \cdot P_0(x) \quad (4.3)$$

Baz istasyonundan yayılan ve ölçülen yerel güç yoğunluğu $S(x)$ genelde elektromanyetik alanın esasen zayıflamasını etkilemektedir. Ölçülen yerel değerler hem kısa hem de uzun zaman etkilerindeki zayıflamayı içermektedir. Yapılan ölçümler esasen enine olduğuna (uzun zaman etkileri) göre ölçüm sonuçlarının kısa zaman sonuçlarını etkilemesi ihmal edilebilir. Bu durumda ölçülen değerler $S_1(x)$ gerçek değerden $S(x)$ farklı olacaktır. Bu hataları ölçüm sayısına veya hassasiyete göre azaltmak mümkündür.

Baz istasyonundan gelen sinyallerin ortalama değeri mobil sistem üzerine monte edilmiş ölçüm biriminden iki yöntemle elde edilebilir;

a) Ölçüm güzergâhı üzerindeki belirli iki nokta arasında ölçülen değerler veya belirli zaman süresinde ölçülen değerler. Baz istasyonunun konumuna göre Şekil 4.9'a uygun güzergâh üzerinde (uzun zaman ölçümü). Bu uzaklık $(-l, +l)$ olarak $2l$ uzunluğu seçilebilir.

b) Baz istasyonunun yaydığı sinyalin en etkin olduğu $2l$ güzergâhı seçildikten sonra bu bölgedeki en uygun ölçümü yapılacak olan bağımsız gözlem noktası sayısı (N) belirlenebilir. Bu ölçüm sayısının en elverişli düzeyinin önceden belirlenmesi ölçüm yönteminin etkinliğini ve harcamaları optimum hale getirir. Buna göre elverişli gözlem noktası sayısının belirlenmesi çok önemlidir. Bu işlem olasılık teorisi yöntemlerine göre yapılabilir.

Mobil ölçüm biriminin baz istasyonundan yayılan sinyalin yerel ortalama değerinin belirlenmesi için gerekli $2l$ aralığı aşağıdaki şekilde belirlenebilir. Bu bölgede hem kısa zaman hem de uzun zaman etkili ölçüm sonuçları olacağı için bu bölgede etkin olan sinyalin belli bir andaki değişimi aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$f(t) = p(t)e^{j\varphi(t)} \quad (4.4)$$

Burada $p(t)$ ve $\varphi(t)$ sırası ile sinyalin zarfı ve fazörüdür. Bu eşitlikteki $p(t)$ fonksiyonu iki bileşen içermektedir: $S(t)$ uzun zaman etki değişimi ve $P_0(t)$

kısa zaman veya anlık etki değişimi parametreleridir. Mobil ölçüm güzergâhının herhangi bir y noktasında 4.3 nolu denkleme göre yazabiliriz,

$$P(y) = S(y) \cdot P_0(y) \quad (4.5)$$

Kısa zaman ölçüm dağılımı $P_0(t)$ Rayleigh dağılımı [103] olarak varsayılması açıkça görülmektedir. O halde y konumu üzerinde $(x - l)$ ve $(x + l)$ arasında integral işlemi alınarak $2l$ aralığında uzun süre ölçümlerinde ortalama değer ($S_1(x)$) hesaplanabilir. Bu hesaplamalarda kısa zaman ölçüm dağılımının normalleştirme koşulunun sağlandığı varsayılır:

$$\frac{1}{2l} \int_{x-l}^{x+l} P_0(y) dy = 1 \quad (4.6)$$

Burada P_0 Rayleigh dağılımını zayıflatan sinyalin normudur. Bu durumda $S_1(x)$ olasılığının sapma varyansı (σ_m) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_m^2 = S_1^2(x) - (S_1(x))^2 \quad (4.7)$$

x noktasına ait $S_1(x)$ yerel değeri Rayleigh dağılımında aşağıdaki gibi elde edilir [103],

$$S_1(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma = 1.253 \sigma \quad (4.8)$$

Burada $2\sigma^2 \leq P^2(y)$ olup, genelde noktadan noktaya değişebilir. Bu ilişkiler göz önünde tutulduğunda basit integral işlemlerinden [104] sonra olasılık sapması aşağıdaki gibi elde edilebilir,

$$\sigma_m^2 = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma}{2 \frac{2l}{\lambda}} \int_0^{\frac{2l}{\lambda}} \left(l - \frac{x}{\frac{2l}{\lambda}} \right) Z_0^2(2\pi x) dx \quad (4.9)$$

Burada, λ dalga boyu, $Z_0(\cdot)$ mertebeden birinci tür Bessel fonksiyonudur. Eğer $\frac{2l}{\lambda} \rightarrow 0$ olursa, o halde 4.9 nolu denklemden,

$$\sigma_m^2 = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma}{2 \frac{2l}{\lambda}} \int_0^{\frac{2l}{\lambda}} \left(l - \frac{x}{\frac{2l}{\lambda}} \right) dx = \frac{1}{4} \left(\sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \right) \quad (4.10)$$

olarak hesaplanır. Eğer $\frac{2l}{\lambda} \rightarrow \infty$ ise $\sigma_m^2 \rightarrow 0$ olur. Bu durumda, $2\sigma_m$ sapma genişliği aşağıdaki gibi hesaplanacaktır,

$$2\sigma_m \text{ sapma} = 20 \log_{10} \left(\frac{S_1(x) + \sigma_m}{S_1(x) - \sigma_m} \right) \quad (4.11)$$

veya $1\sigma_m$ sapma genişliği,

$$1\sigma_m \text{ sapma} = 10 \log_{10} \left(\frac{S_1(x) + \sigma_m}{S_1(x) - \sigma_m} \right) \quad (4.12)$$

Ölçümlerin geçerli sayılabileceği uygun uzaklığı $2l$ değerlendirmek için aşağıdaki verileri dikkate almak gerekir.

Diyarbakır İl Merkezi'deki ve kırsal bölgelerdeki ölçümlerde aslında UMTS sinyallerinin daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir [71]. Bu UMTS bandının 2100 MHz olduğu dikkate alındığında ve Şekil 4.9'daki ölçümler için uygun uzaklığın $2l = 40\lambda$ olduğu varsayılabilir. Bu $\lambda = 0.07 \text{ m}$ olmakta ve $2l = 2.8 \text{ m}$ karşılık gelmektedir. GSM 900 MHz sinyali için bu uzaklık $2l = 6.67 \text{ m}$ ve GSM 1800 MHz sinyali için ise bu uzaklık $2l = 3.33 \text{ m}$ olur. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi $2l = 3 - 7 \text{ m}$ civarlarında yapılan ölçümler seçilmiş uzaklığın içerisinde bulunmaktadır. Bu durumlarda $1\sigma_m$ sapma genişliği $1 d_B$ zayıflama bandına karşılık olarak, $\sigma_m = 0.12$ [104], $2l = 20\lambda$,

$$1\sigma_m \text{ sapma} = 10 \log_{10} \left(\frac{1 + \sigma_m}{1 - \sigma_m} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{1 + 0.1}{1 - 0.1} \right) = 0.87 d_B \quad (4.13)$$

olur. $2l = 40\lambda$ olduğunda bu parametre $1 d_B$ sapma genişliğine ulaşmaktadır. 4.10 ve 4.12 nolu denklem incelendiğinde $2l > 40\lambda$ bölgesinde bu sapma genişliği değişiminin en zayıf olduğu, $2l < 20\lambda$ bölgesinde ise bu sapmanın hızla arttığı görülmektedir. Böylece baz istasyonunun yaydığı sinyallerin mobil ölçümü için gereken uygun uzaklık $20\lambda \leq 2l \leq 40\lambda$ olmalıdır. Bu tez çalışmasındaki ölçümler bu aralıktadırlar. Fakat ölçümlerin uygun uzaklık $20\lambda \leq 2l \leq 40\lambda$ civarlarında yapılması sonucu adekvant (tam doğru) olduğu kanaatini vermez. Ölçülen sinyal seviyesinin ortalama değerini elde etmek için bu ölçümlerin birkaç defa (5, 10 veya yüzlerce) daha yapılması gerekmektedir. Başka bir deyişle bölgedeki sinyal seviyesinin kararlı ortalama değerinin elde edilmesi için gözlem sayısının (N) belirlenmesi gerekmektedir. Diğer yandan bu gözlem sayılarının en düşük sayıda olmasının da tespit edilmesi istenmektedir.

Burada 4.3 nolu denkleme benzer olarak $x = v.t$ iken $P(x)$ ve $S(x)$ arasındaki ilişkinin yeniden tanımlanması gerekmektedir. Bu durumda $P(x)$ hem log normal hem de Rayleigh dağılımlarını içeren bir değişken olarak kullanılır ve aşağıdaki gibi belirlenebilir,

$$S(x) = \sum_{i=1}^N \frac{P(x_i)}{N} \quad (4.14)$$

Bu arada $S(x)$ ve $P(x)$ d_B cinsinden hesaplanır. Ortalama değer olasılığına karşılık gelen sapma ve standart sapma ise aşağıdaki gibi belirlenir [100,104],

$$\sigma = \sqrt{\frac{\langle P^2(x) \rangle}{2}} \quad (4.15)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{(\mu - \pi)}{2}} \sigma \quad (4.16)$$

standart sapmanın d_B cinsinden ifadesi ise aşağıdaki gibi olur.

$$\sigma_0(d_B) = 20 \log_{10} \left(\frac{m + \sigma_0}{m} \right) = 20 \log_{10} \left(1 + \sqrt{\frac{(\mu - \pi)}{2}} \right) = 4.38 d_B \quad (4.17)$$

Gözlem sayısına uygun olarak varyans ise aşağıdaki şekilde bulunur,

$$\sigma_1^2 = \frac{\sigma_0^2}{N} \quad (4.18)$$

$z \leq Z$ durumu için olasılık fonksiyonu aşağıdaki gibi olur [100],

$$P(z \leq Z) = P\left(\frac{p-s}{\sigma_1} \leq z\right) \quad (4.19)$$

Burada, z Gauss değişkenidir. Eğer Z değerinin öyle bir aralığı ki güven aralığı %90 olursa, o halde

$$P(-1.645 \leq Z \leq 1.645) = \%90 \quad (4.20)$$

olur. Burada, 4.18 nolu denklem dikkate alınır,

$$Z = \frac{p-s}{\sigma_1} = \frac{p-s}{\frac{\sigma_0}{\sqrt{N}}} \quad (4.21)$$

olarak elde edilir. Bu ifade 4.20 nolu denklem dikkate alındığında güven aralığı %90 olasılık için

$$P\left(-1.645 \leq \frac{p-s}{\frac{\sigma_0}{\sqrt{N}}} \leq 1.645\right) = \%90 \quad (4.22)$$

elde edilir. Burada güven aralığı için,

$$P\left(-1.645 \frac{\sigma_0}{\sqrt{N}} \leq p - s \leq 1.645 \frac{\sigma_0}{\sqrt{N}}\right) = \%90 \quad (4.23)$$

olur. 4.17 nolu denklem dikkate alındığında bu olasılık aşağıdaki gibi olur.

$$P\left(-1.645 \frac{4.38}{\sqrt{N}} \leq p - s \leq 1.645 \frac{4.38}{\sqrt{N}}\right) = \%90 \quad (4.24)$$

Buradan p parametresine (hem log normal hem de Rayleigh dağılımlarını içeren) göre güven aralığı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir,

$$P\left(s - \frac{7}{\sqrt{N}} \leq p \leq s + \frac{7}{\sqrt{N}}\right) = \%90 \quad (4.25)$$

Bu ifadeye göre p değişkeninin $\pm 1 d_B$ civarlarındaki değişimleri için

$$\frac{7}{\sqrt{N}} \leq 1 d_B \quad (4.26)$$

veya

$$N \geq 49 \quad (4.27)$$

elde edilir. Böylece $\pm 1 d_B$ dağılımına sahip olan mobil ölçümler için en az 49 gözlem sayısı gerekmektedir. Bu ölçümler düzeltilmemiş veya ayarlanmamış ölçümlerdir. Olasılık teorisinde uzayda iki ayarlanmış ölçümler arasındaki mesafe aşağıdaki şekilde belirlenir [104],

$$d = 0.5\lambda \text{ (teori),} \quad d = 0.8\lambda \text{ (deneysel)}$$

Eğer iki seri gözlem arasındaki mesafe 0.8λ 'dan daha büyük olursa, o zaman bu ölçümlerin ayarlanmamış gözlem sayısı olduğu varsayılabilir. Bizim ölçümlerimizde $2l = 40\lambda$ olduğu dikkate alındığında gereken gözlem sayısının 49 olduğu dikkate alındığında gözlemler arasındaki mesafe

$$\frac{40\lambda}{49} = 0.82\lambda$$

olur. Böylece tüm 49 gözlem sayısı 40λ gereken uzunluk için ayarlanmamış ölçüm sonuçlarıdır. Bu sonuçlar deneylerden elde edilen sonuçlarla [71] kıyaslandığında standart sapma ve varyans değerleri benzerlik gösterdiği halde $N = 3304$ (FM, TV, GSM ve UMTS) sayısının çok yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla mobil ölçüm sisteminde bu sayı yeterince az seçilebilir. Fakat buradaki güzergâhın [71] Şekil 4.9'daki güzergâhtan farklı olduğunu dikkate almak gerekir.

Nihayet mobil ölçümlerde güven aralığı daha da yüksek tutmak için gözlem sayısını da değiştirmek gerekli olacaktır. Örneğin %95 güven aralığında

ölçümlerin yapılması istendiğinde 4.24 ve 4.25 nolu denklemler aşağıdaki gibi olur,

$$P(-1.96 \leq Z \leq 1.96) = \%95 \quad (4.28)$$

$$P\left(s - \frac{8.6}{\sqrt{N}} \leq p \leq s + \frac{8.6}{\sqrt{N}}\right) = \%95 \quad (4.29)$$

Bu durumda $\pm 1 d_B$ sapma ile gereken gözlem sayısı $N \geq 74$ olur. O halde iki seri ölçüm arasındaki mesafe

$$\frac{40\lambda}{74} = 0.54\lambda$$

olur. Bu değerler ise ancak teorik bir yaklaşım olup, $2l = 40\lambda$ aralığında elde edilmesi olasılığının düşük olduğunu göstermektedir.

Yukarıdaki incelemeler dikkate alındığında mobil ölçüm yöntemlerinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Mobil ölçüm yöntemlerinde baz istasyonunun yaydığı elektromanyetik alanın (E , H veya S) parametrelerinin ortalama değerlerinin Rayleigh dağılımına göre değerlendirmek mümkündür. Bu sonuçlara göre hem kısa zaman (anlık) hem de uzun zaman ölçüm sonuçları değerlendirilebilir. Rayleigh dağılımından yararlanarak uzun zaman ölçümleri için gerekli $2l$ uzunluğu ve bu uzunluğa düşen gözlem sayısı (N) belirlenebilir. Bu yaklaşımla gerçek sinyalin (elektromanyetik alanın) asıl parametrelerinin (E , H veya S) kullanılmasına gereksinim olmayabilir. Fakat ölçümler baz istasyonunun kapsama alanında ise bu sinyaller doğrudan ölçülebilir. Kısa zaman (anlık) ölçümlerde $2l = 40\lambda$ uzunluğunun belirlenmesi gerekmez. Eğer ölçüm bölgesinde iletişim trafiği yoğun ise (uplink ve downlink trafiği) o zaman ölçüm güzergâhında $2l = 40\lambda$ ve $N = 49 - 50$ koşullarının seçilmesi ile ölçümler için gerekli güven aralığını sağlamak mümkündür.

Mobil ölçümlerde sabit belli bir hızda sinyalin ortalama gücünü belli bir güven aralığında ölçmek için bu ölçümlerin $2l = 20\lambda - 40\lambda$ güzergâhta yapmak yeterlidir. Bu ölçümler Rayleigh dağılımına karşılık gelmektedir. Örneğin bu bölgedeki baz istasyonu sinyalinin ortalama gücünü güven aralığında ölçmek için gözlem sayısı en az 49 civarında olmalıdır. Bu durumda güven aralığı %90 olasılıkla ölçüm hatası $\pm 1 d_B$ düzeyinde olur. Eğer $2l = 20\lambda - 40\lambda$ mesafesinde ölçüm aralığı %95 civarlarında istenmiş olunursa o halde gözlem sayısı = 74 veya daha fazla olması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında yapılan ölçümlerde [71] gözlem sayısı bu değerlerin çok üstünde olduğundan dolayı elde edilen sonuçların güven aralığının yeterince yüksek olduğu kanaatine varılmıştır.

4.3. Tematik Haritaların Analizi

Toplam band 3.1 nolu denkleme göre hesaplanmış ve E değerleri beş farklı renkte ve grupta sınıflandırılarak her ölçüm günü için ayrı ayrı tematik haritalar hazırlanmıştır.

Şekil 4.11'den başlayıp Şekil 4.17'de biten tematik haritalarda görüldüğü gibi RF EMA maruziyet seviyelerinde büyük değişimler gözlenmektedir. Ancak Diclekent ve Batıkent diye adlandırılan iki noktada en yüksek maruziyet seviyeleri ölçülmüştür. Diclekent noktası altı gün kırmızı ve sadece bir gün sarı renkte, Batıkent noktası ise üç gün kırmızı ve dört gün sarı renkte gösterilmiştir. Ayrıca Batıkent noktasına yaklaşık 125 metre uzaklıkta bir okul olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.13'te görüldüğü gibi alınan ölçümlerde en yüksek RF EMA maruziyet seviyesi olan 7.1820 V/m Batıkent noktasında ölçülmüştür. Diclekent noktasında ölçülen en yüksek değer ise 5.8130 V/m 'dir. Yine aynı çizelgede görüldüğü gibi Toplam banda en çok katkıyı sağlayan band UMTS bandı olmuştur. Bu tespit Çizelge 4.8'de yer alan altı band içerisinde en yüksek ortalama değere sahip olan UMTS bandı analizi ile de örtüşmektedir.

Diclekent ve Batıkent noktalarının Diyarbakır İl Merkezi'deki en yüksek maruziyet seviyelerine sahip olmalarının nedenleri sahada incelenmiştir. Yapılan saha incelemeleri sonucunda bu iki noktanın bazı ortak noktalarının olduğu tespit edilmiştir. Her iki noktada da yaklaşık tek kat seviyesinde trafo binası üzerine montajı yapılmış baz istasyonlarının olduğu görülmüştür. Bununla birlikte her iki noktadaki baz istasyonlarının hem GSM hem de UMTS antenlerinin olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle ortamdaki RF EMA maruziyet seviyesi daha da artabilmektedir. Ayrıca bu trafo binalarının mobil ölçümü yapılan caddelere çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Buna benzer sebeplerden dolayı mobil haberleşme sistemlerinin şehir merkezindeki RF EMA maruziyet seviyeleri FM ve TV maruziyet seviyelerinden daha yüksek ölçülebilmektedir.

Tematik haritalarda görüldüğü gibi mobil ölçüm güzergâhı üzerindeki nüfusun yoğun olduğu yerlerdeki RF EMA maruziyet seviyeleri nüfusun az yoğun olduğu yerlere göre daha yüksek ölçülmüştür. Bununla birlikte Türkiye İstatistik Kurumu'nun [105] 2015 nüfus sayımına göre Diyarbakır İli Bağlar İlçesi'ne bağlı Mevlana Halit Mahallesi'nin nüfusu Sur İlçesi Yukarıkılıçtaşı Mahallesi'ne göre çok yüksek sayılmıştır. Dolayısıyla nüfus yoğunluğunun RF EMA üzerindeki etkisi tematik haritalar üzerinde açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.11. Pazartesi günü (10.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası



Şekil 4.13. Çarşamba günkü (12.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası



Şekil 4.14. Perşembe günü (13.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası



Şekil 4.15. Cuma günü (14.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası



Şekil 4.16. Cumartesi günü (15.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası



Şekil 4.17. Pazar günkü (16.11.2014) RF EMA maruziyet seviyelerinin tematik haritası



Şekil 4.18. Diyarbakır İl Merkezi'ndeki en yüksek RF EMA maruziyet seviyelerine sahip iki nokta

Çizelge 4.13. En yüksek RF EMA maruziyet seviyelerine sahip iki noktanın bandlara göre bir haftalık elektrik alan şiddeti değerleri

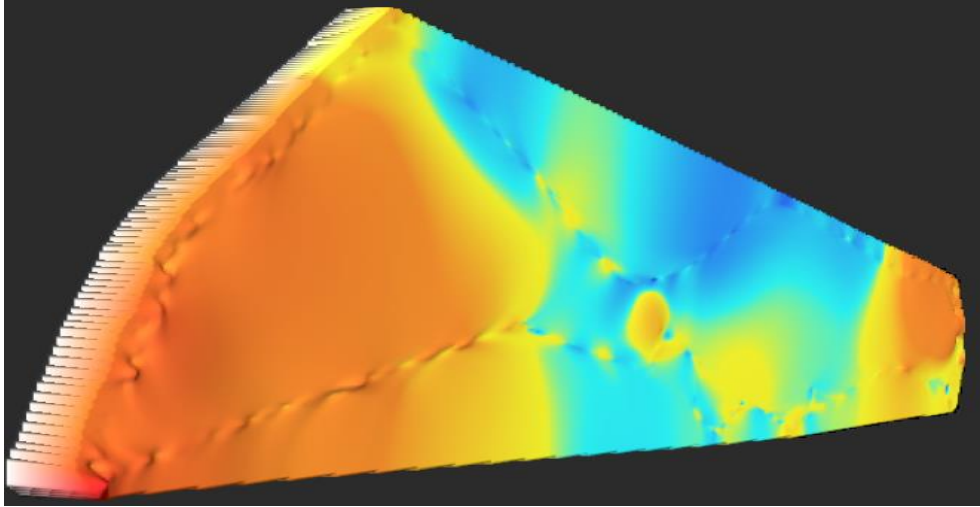
Yer adı	Ölçüm tarihi	E_{TOPLAM}	E_{FM}	E_{TV3}	E_{TV4-5}	$E_{GSM 900}$	$E_{GSM 1800}$	E_{UMTS}
Diclekent	10.11.2014	3.6410	0.1113	0.0756	0.1332	1.9790	1.7490	2.4990
Batıkent	10.11.2014	4.4820	0.0811	0.0806	0.1200	2.8910	1.3200	3.1560
Diclekent	11.11.2014	5.8130	0.1313	0.0757	0.1701	3.1210	1.1840	4.7540
Batıkent	11.11.2014	4.0710	0.0781	0.0792	0.1204	1.7910	2.7920	2.3550
Diclekent	12.11.2014	5.6470	0.1104	0.0815	0.2291	3.4040	0.4560	4.4750
Batıkent	12.11.2014	7.1820	0.0818	0.0837	0.1193	2.6330	2.7430	6.0900
Diclekent	13.11.2014	4.5130	0.1307	0.0788	0.1737	1.6960	1.1560	4.0130
Batıkent	13.11.2014	3.9260	0.0802	0.0830	0.1119	1.8430	2.9440	1.8220
Diclekent	14.11.2014	4.8170	0.1003	0.0818	0.1369	1.9090	1.8330	4.0210
Batıkent	14.11.2014	3.8690	0.0774	0.0787	0.1148	2.0830	1.0600	3.0800
Diclekent	15.11.2014	5.4180	0.1241	0.0841	0.1680	1.8240	2.0700	4.6580
Batıkent	15.11.2014	3.5330	0.0922	0.0786	0.1258	1.4300	0.2047	3.2200
Diclekent	16.11.2014	4.7720	0.1080	0.0777	0.1402	1.2700	1.2390	4.4260
Batıkent	16.11.2014	3.9770	0.0911	0.0816	0.1238	3.1680	0.1374	2.3930

4.4. Üç Boyutlu ve Kontur Haritalarının Analizi

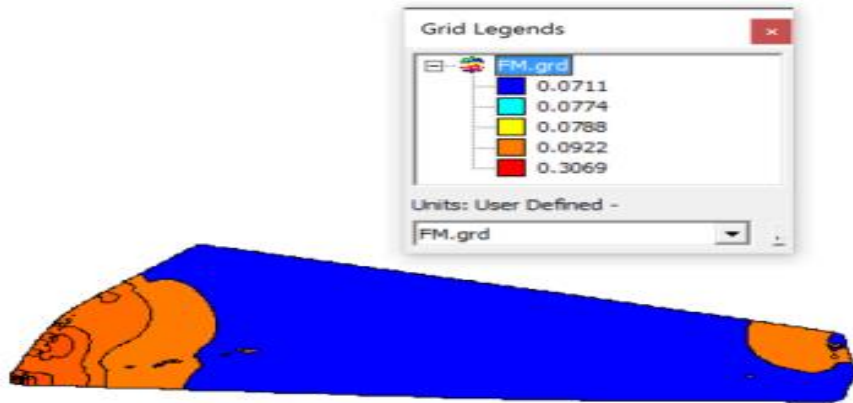
Mobil ölçümü yapılan hafta içerisinde ortalama elektrik alan şiddeti değerinin en yüksek olduğu gün Çarşamba günü olarak tespit edilmiştir. Bundan dolayı Çarşamba gününe ait FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800, UMTS ve Toplam bandlarının üç boyutlu ve kontur haritaları hazırlanmıştır.

4.4.1. FM bandının üç boyutlu ve kontur haritaları

FM bandının Çarşamba gününe ait mobil ölçüm değerlerinin üç boyutlu ve kontur haritası sırası ile Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir. FM bandının o günkü mobil ölçümüne ait en düşük elektrik alan şiddeti değeri 0.0708 V/m , en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 0.3083 V/m ve ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise 0.090973 V/m olarak ölçülmüştür.



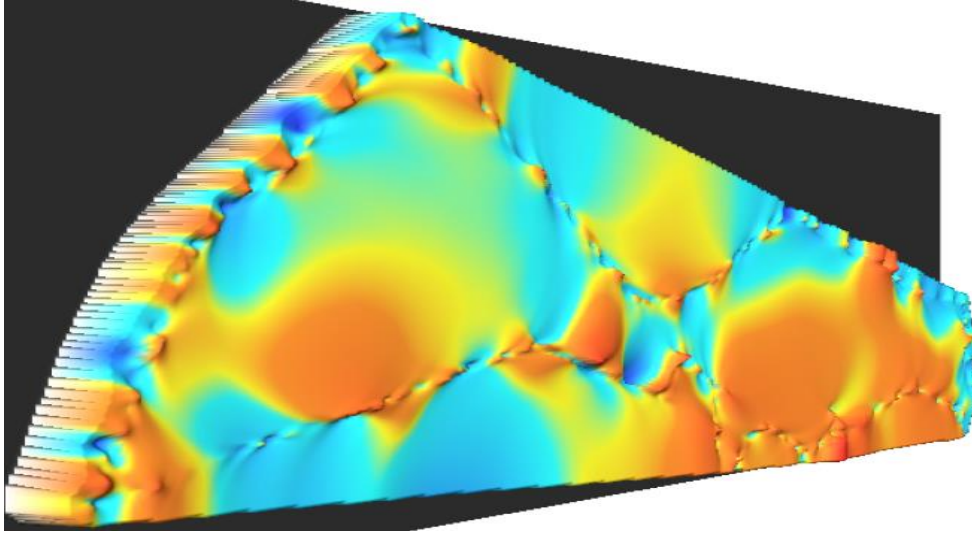
Şekil 4.19. FM bandının üç boyutlu haritası



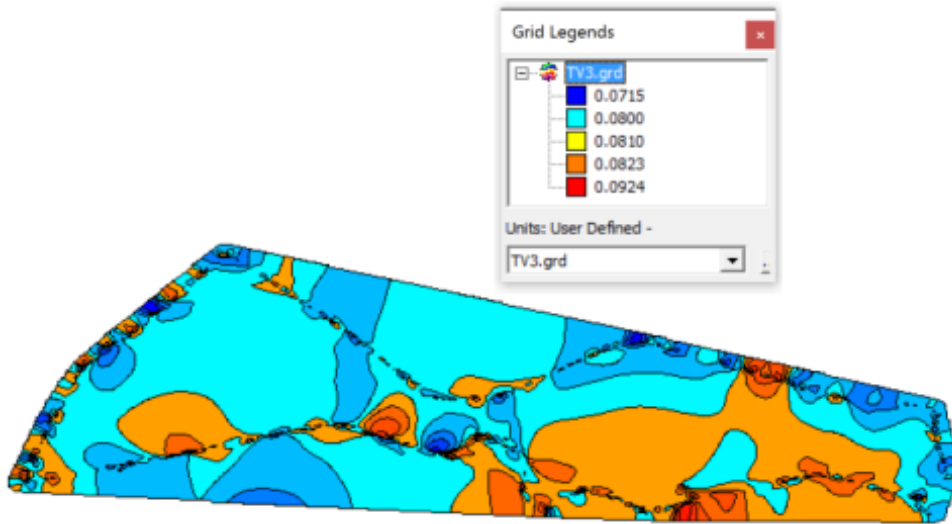
Şekil 4.20. FM bandının kontur haritası

4.4.2. TV3 bandının üç boyutlu ve kontur haritaları

TV3 bandının Çarşamba gününe ait mobil ölçüm değerlerinin üç boyutlu ve kontur haritası sırası ile Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de gösterilmiştir. TV3 bandının o günkü mobil ölçümüne ait en düşük elektrik alan şiddeti değeri 0.0711 V/m , en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 0.0949 V/m ve ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise 0.081212 V/m olarak ölçülmüştür.



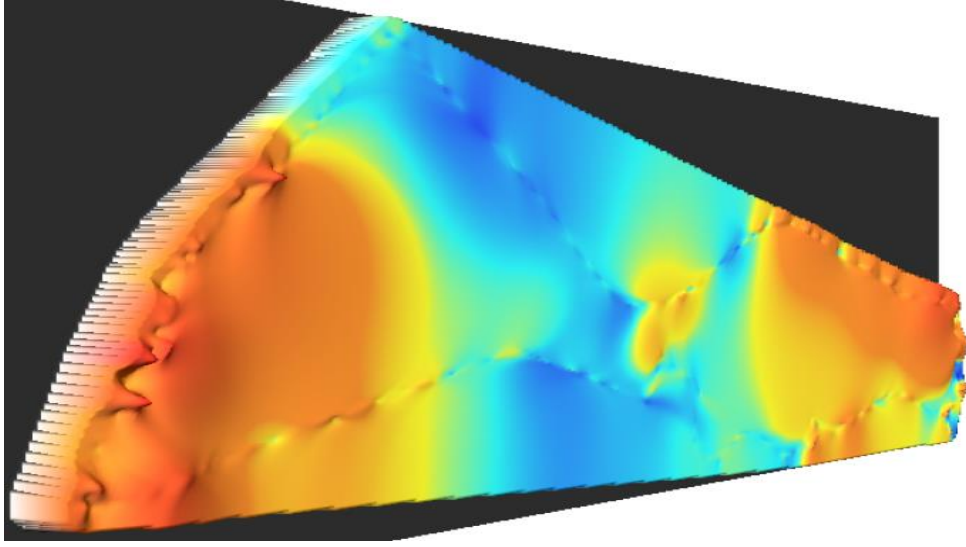
Şekil 4.21. TV3 bandının üç boyutlu haritası



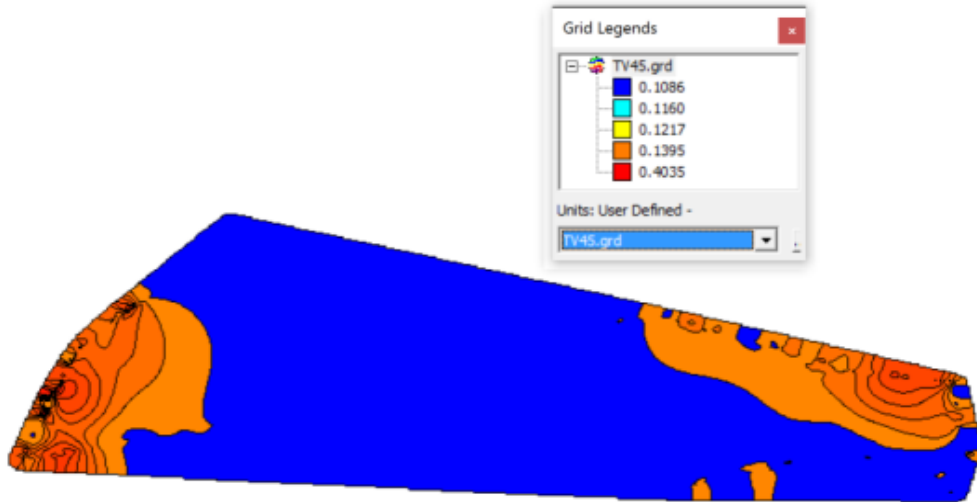
Şekil 4.22. TV3 bandının kontur haritası

4.4.3. TV4-5 bandının üç boyutlu ve kontur haritaları

TV4-5 bandının Çarşamba gününe ait mobil ölçüm değerlerinin üç boyutlu ve kontur haritası sırası ile Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te gösterilmiştir. TV4-5 bandının o günkü mobil ölçümüne ait en düşük elektrik alan şiddeti değeri 0.1057 V/m , en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 0.4270 V/m ve ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise 0.137812 V/m olarak ölçülmüştür.



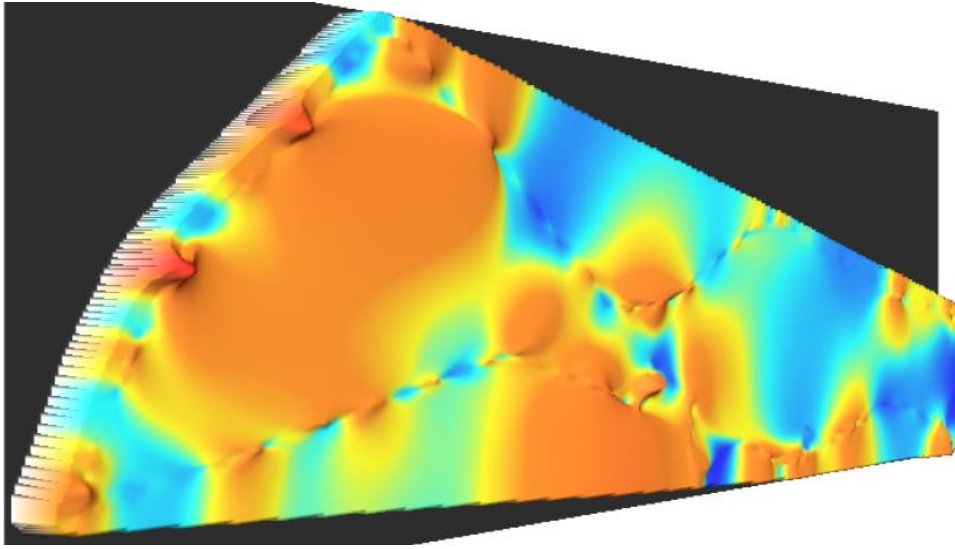
Şekil 4.23. TV4-5 bandının üç boyutlu haritası



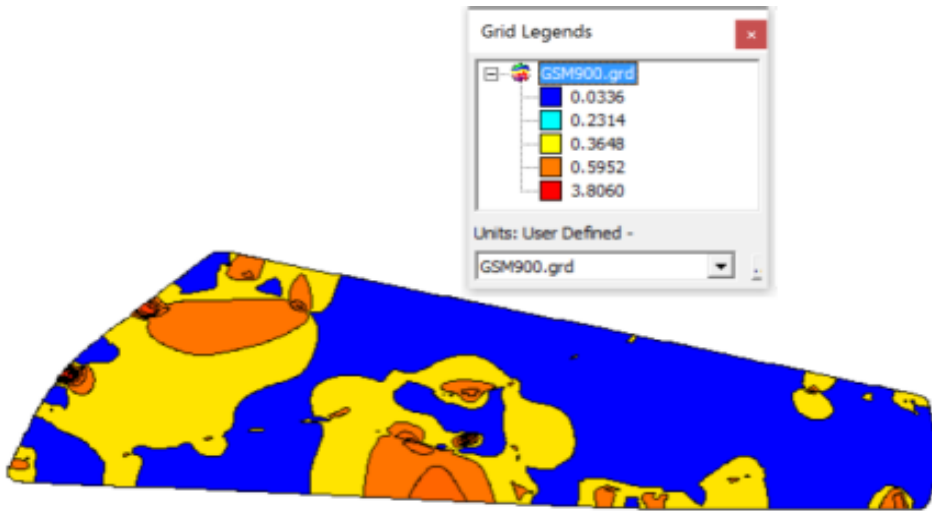
Şekil 4.24. TV4-5 bandının kontur haritası

4.4.4. GSM 900 bandının üç boyutlu ve kontur haritaları

GSM 900 bandının Çarşamba gününe ait mobil ölçüm değerlerinin üç boyutlu ve kontur haritası sırası ile Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da gösterilmiştir. GSM 900 bandının o günkü mobil ölçümüne ait en düşük elektrik alan şiddeti değeri 0.0331 V/m , en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 3.8580 V/m ve ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise 0.498518 V/m olarak ölçülmüştür.



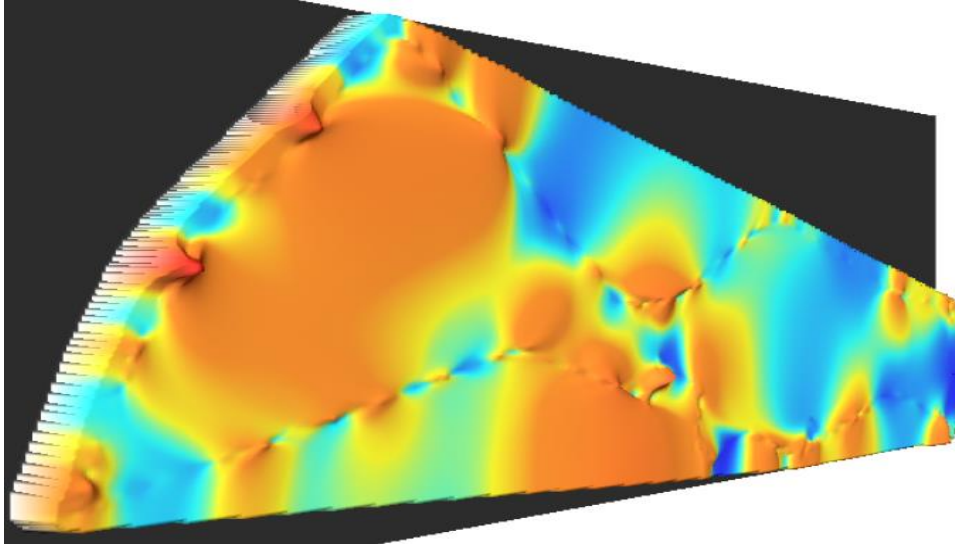
Şekil 4.25. GSM 900 bandının üç boyutlu haritası



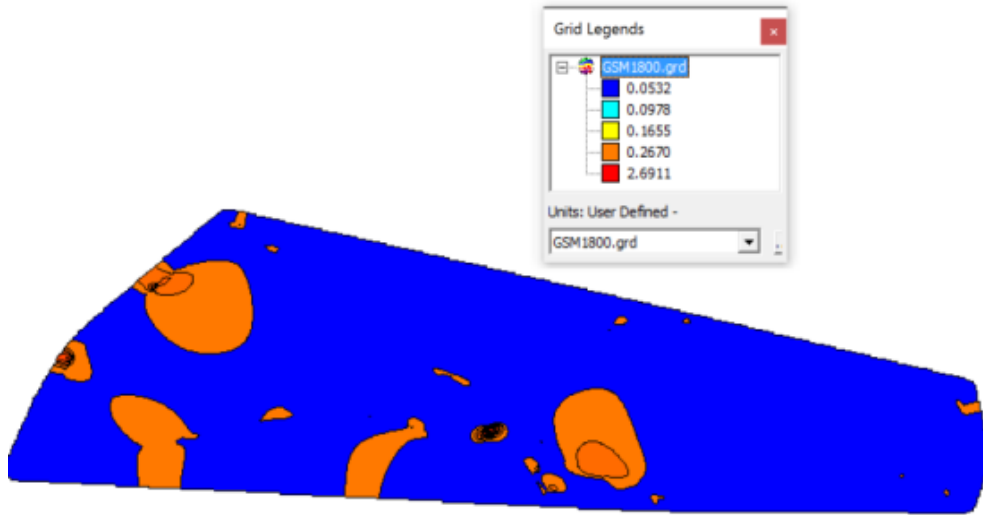
Şekil 4.26. GSM 900 bandının kontur haritası

4.4.5. GSM 1800 bandının üç boyutlu ve kontur haritaları

GSM 1800 bandının Çarşamba gününe ait mobil ölçüm değerlerinin üç boyutlu ve kontur haritası sırası ile Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir. GSM 1800 bandının o günkü mobil ölçümüne ait en düşük elektrik alan şiddeti değeri 0.0532 V/m , en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 2.7430 V/m ve ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise 0.221201 V/m olarak ölçülmüştür.



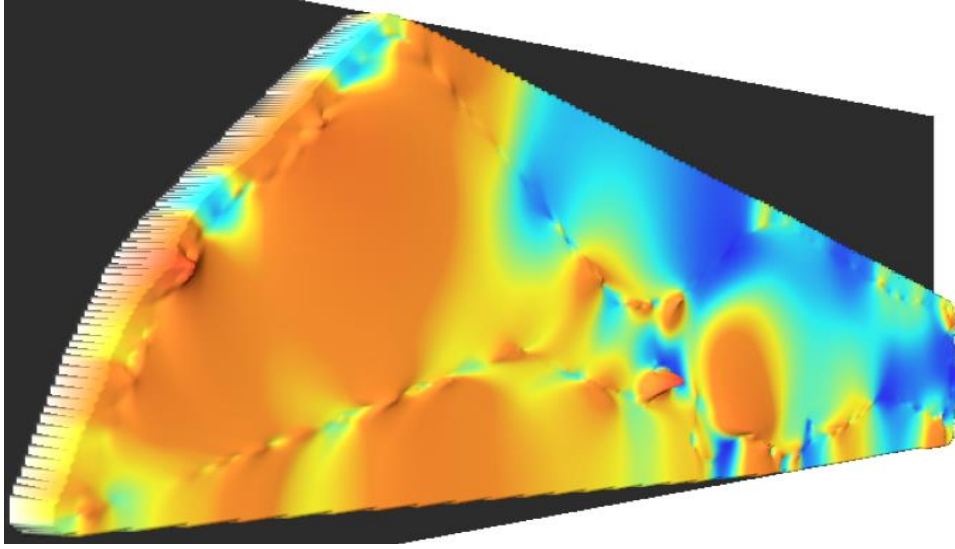
Şekil 4.27. GSM 1800 bandının üç boyutlu haritası



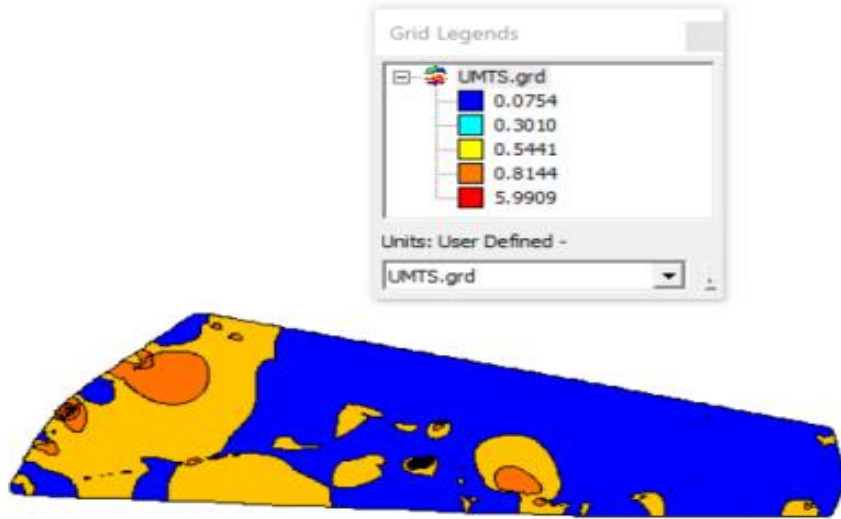
Şekil 4.28. GSM 1800 bandının kontur haritası

4.4.6. UMTS bandının üç boyutlu ve kontur haritaları

UMTS bandının Çarşamba gününe ait mobil ölçüm değerlerinin üç boyutlu ve kontur haritası sırası ile Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir. UMTS bandının o günkü mobil ölçümüne ait en düşük elektrik alan şiddeti değeri 0.0750 V/m , en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 6.0900 V/m ve ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise 0.628138 V/m olarak ölçülmüştür.



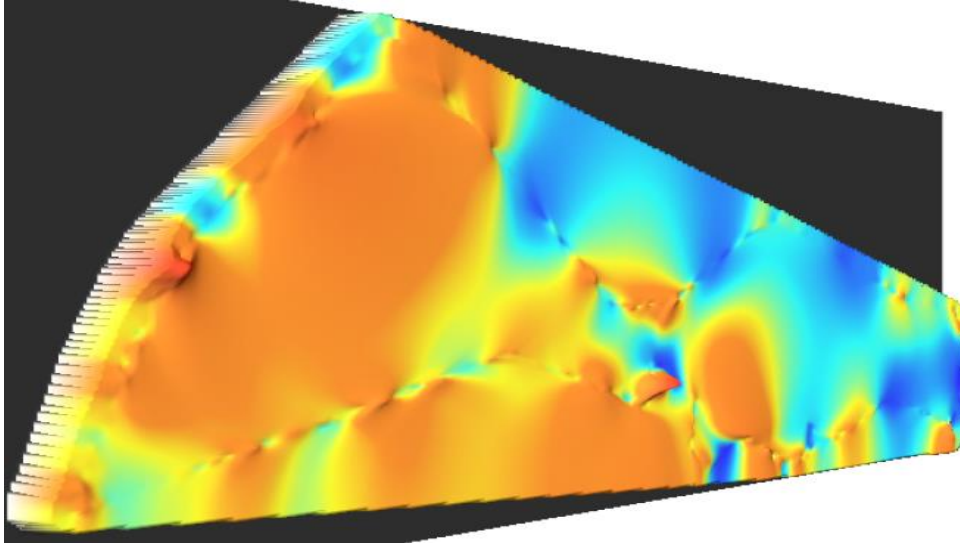
Şekil 4.29. UMTS bandının üç boyutlu haritası



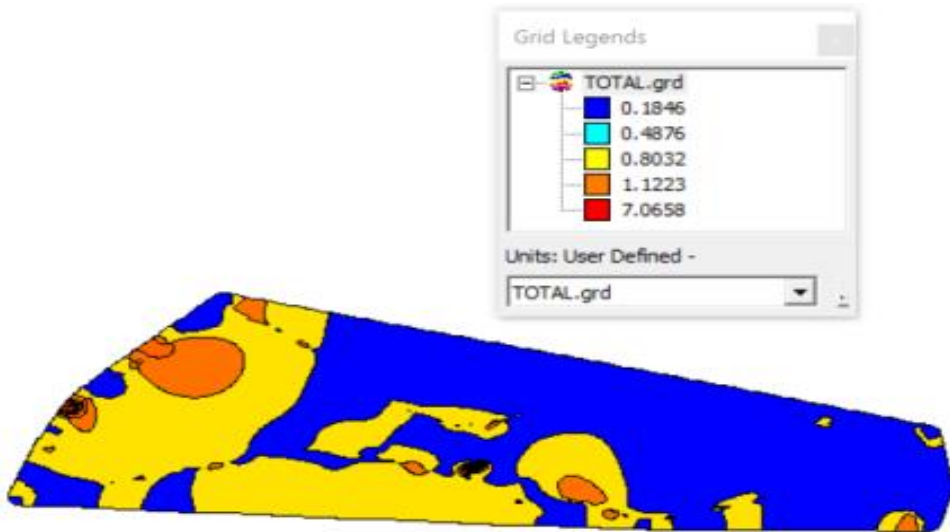
Şekil 4.30. UMTS bandının kontur haritası

4.4.7. Toplam bandının üç boyutlu ve kontur haritaları

Toplam bandının Çarşamba gününe ait mobil ölçüm değerlerinin üç boyutlu ve kontur haritası sırası ile Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de gösterilmiştir. Toplam bandının o günkü mobil ölçümüne ait en düşük elektrik alan şiddeti değeri 0.1847 V/m , en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 7.1820 V/m ve ortalama elektrik alan şiddeti değeri ise 0.915840 V/m olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.31. Toplam bandının üç boyutlu haritası



Şekil 4.32. Toplam bandının kontur haritası

4.5. Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde Yapılan Mobil Ölçüm

Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde 23 Mayıs 2016 tarihinde yapılan mobil ölçüm Şekil 4.33'te yer almaktadır. Kampüste üç mobil ağ operatörünün de baz istasyonları bulunmaktadır. Bu baz istasyonları hem GSM hem de UMTS hizmeti vermektedirler.



Şekil 4.33. Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde yapılan mobil ölçüm

Tematik haritalarda görüleceği gibi Diyarbakır İl Merkezi'nde yapılan mobil ölçüm güzergâhı ile Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde yapılan mobil ölçüm güzergâhının ortak kısımları bulunmaktadır. Şekil 4.11'den başlayıp Şekil 4.17'de sonlanan Diyarbakır İl Merkezi'nde yapılan mobil ölçümlerin tematik haritaları ile Şekil 4.33'te yer alan Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde yapılan mobil ölçümün tematik haritasının ortak kısımları arasında büyük bir benzerlik görülmektedir. Bu benzerliğin en büyük nedeni ise üç mobil ağ operatörünün de aradan geçen bu zaman zarfında yeni bir baz istasyonu kurmamış olmasıdır. Dolayısıyla ortamdaki RF EMA maruziyet seviyesini etkileyecek büyük bir değişim meydana gelmediğinden bu benzerlik devam etmiştir.

Diyarbakır İl Merkezi'nde bulunan Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde yapılan mobil ölçüm ile ilgili veriler Çizelge 4.14'te yer almaktadır. Kampüste yapılan altı RF EMA bandlarının ölçümünde en yüksek değer UMTS bandında 1.4920 V/m olarak ölçülmüştür. Buna ek olarak ölçülen en düşük değer ise GSM 900 bandında 0.0295 V/m olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14. Kampüste yapılan mobil ölçüm değerleri

Değerler	FM	TV3	TV4-5	GSM 900	GSM 1800	UMTS
Maksimum E (V/m)	0.1362	0.0970	0.6181	1.4750	0.6110	1.4920
Ortalama E (V/m)	0.0862	0.0827	0.1635	0.2795	0.1073	0.3687
Minimum E (V/m)	0.0745	0.0731	0.1120	0.0295	0.0547	0.0754

Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde yapılan mobil ölçüm sonucunda da ortamdaki RF EMA maruziyet seviyesine en büyük katkıyı sağlayan bandın UMTS bandı olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın kampüsteki RF EMA maruziyet seviyesine en küçük katkıyı sağlayan bandın ise TV3 bandı olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.14'te yer alan ortalama elektrik alan değerleri dikkate alındığında kampüste RF EMA maruziyet seviyesine katkıyı sağlayan bandlar büyükten küçüğe doğru UMTS, GSM 900, TV4-5, GSM 1800, FM ve TV3 şeklinde sıralanmaktadır.

4.6. Ölçüm Değerlerinin ICNIRP Referans Seviyeleri ile Karşılaştırılması

Şehir merkezinde yapılan mobil ölçümlerde en düşük frekans 87.5 MHz ile FM bandında başlayıp en yüksek frekans 2100 MHz ile UMTS bandında sonlanmıştır. Çizelge 2.6'da genel halk sağlığı için ve Çizelge 2.5'te ise meslek maruziyeti için ICNIRP'nin önermiş olduğu E ve H değerleri için referans seviyeleri yer almaktadır.

Bir haftalık mobil ölçümler dikkate alındığında, Çizelge 4.13'te görüldüğü gibi Diyarbakır İl Merkezi'nde en yüksek maruziyet seviyesine sahip olan Batıkent noktasında E değeri 7.1820 V/m ve Diclekent noktasında ise E değeri 5.8130 V/m ölçülmüştür. Diğer bandlar da ayrıntılı incelendiğinde Çizelge 4.8'de görüldüğü üzere FM bandı için ölçülen en yüksek değer 0.3389 V/m ve ICNIRP referans seviyesi ise 28 V/m'dir. Aynı şekilde TV3 bandı için ölçülen en yüksek değer 0.0991 V/m ve ICNIRP referans seviyesi ise 28 V/m'dir. TV4-5 bandı için ölçülen en yüksek değer 0.6066 V/m ve ICNIRP referans seviyesi ise yaklaşık (800 MHz için) 39 V/m'dir. GSM 900 bandı için ölçülen en yüksek değer 3.8580 V/m ve ICNIRP referans seviyesi ise (900 MHz için) yaklaşık 41 V/m'dir. GSM 1800 bandı için ölçülen en yüksek değer 2.9440 V/m ve ICNIRP referans seviyesi ise (1800 MHz için) yaklaşık 58 V/m'dir. Son olarak, UMTS bandı için ölçülen en yüksek değer 6.0900 V/m ve ICNIRP referans seviyesi ise 61 V/m'dir.

İnsan sağlığı için 100 kHz ile 300 GHz arasında termal etki nedeniyle 2.40 ve 2.41 nolu denklemlerin [28] aşılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında FM bandı ile UMTS bandı arasında ölçüm yapıldığından aynı koşullar devam etmektedir. Altı bandın ölçülen en yüksek anlık E değerleri dahi Çizelge 2.6'daki ICNIRP'nin genel halk sağlığı için önerilen E referans seviyelerinin altında kalmaktadır. Ayrıca uzak alanda E , H ve S değerleri 2.33 nolu denklemdeki gibi birbirine dönüşebilmektedir. Yani dolayısıyla H değerleri de Çizelge 2.6'daki ICNIRP'nin genel halk sağlığı için önerilen H referans seviyelerinin altında kalmaktadır. Böylece 2.40 ve 2.41 nolu denklemlerdeki toplam değerler 1'in altın kalmaktadır. Ayrıca Çizelge 2.6'daki ICNIRP'nin genel halk sağlığı için önerilen E ve H referans seviyeleri aşılmadığından mesleki maruziyet referans seviyeleri de aşılmamıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Diyarbakır İl Merkezi'nde 10 Kasım 2014 ile 16 Kasım 2014 tarihleri arasında yaklaşık saat 17:00 ile 18:20 arasında FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandlarının ana yollardaki RF EMA maruziyet seviyeleri mobil ölçüm yöntemi ile eşzamanlı olarak ölçülmüştür. Daha sonra bu altı bandın meydana getirdiği toplam maruziyet seviyesini belirlemek için yedinci band olarak Toplam band hesaplanmıştır.

Mobil ölçüm yöntemi ile şehir merkezi gibi geniş alanlar hızlı bir şekilde ölçülmüş ve ortamın elektromanyetik karakteristiği hakkında kısa sürede bilgi sahibi olunmuştur. Kişisel maruziyet ölçüm yöntemi ve sabit ölçüm yöntemi ile şehir merkezleri gibi büyük ve geniş alanlarda ölçüm yapmak hem zor hem de uzun süre alacağından mobil ölçüm yöntemiyle kısa sürede ve daha hızlı bir şekilde ölçüm yapmak mümkün olmuştur. Böylece zaman konusunda büyük bir avantaj yakalanmıştır.

Toplam bandın şehir merkezinde oluşturmuş olduğu RF EMA maruziyet seviyesi sayısal uydu haritası üzerinde gösterilerek her ölçüm günü için bir tematik harita hazırlanmıştır. Bu haritalar göz önünde tutulduğunda ortamın RF EMA maruziyet seviyesinin çok değişken olduğu görülmüştür. Ancak tematik haritaların ayrıntılı incelemesi sonucunda Diyarbakır İl Merkezi'nde en yüksek RF EMA maruziyet seviyesine sahip iki nokta tespit edilmiştir. Bu noktalardan biri olan Batıkent noktasında şehir merkezindeki bir haftalık ölçümlerin en yüksek E değeri $7.1820 V/m$ ve diğer bir nokta olan Diclekent noktasında ise en yüksek E değeri $5.8130 V/m$ olarak ölçülmüştür.

Mobil ölçümlerin günlük olarak tematik haritalandırılması sonucunda nüfusun yoğun olduğu yerlerdeki RM EMA maruziyet seviyelerinin nüfusun daha az yoğun olduğu yerlere nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun en önemli nedenlerinden biri nüfusun yoğun olduğu yerlerdeki baz istasyonu sayısı genellikle nüfusun daha az yoğun olduğu yerlere kıyasla daha fazla olabilmektedir. Bir baz istasyonu ile sınırlı sayıda kişi görüşme yapabilmektedir. Bu sayı aşıldığında başka bir baz istasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece yoğunluktan dolayı baz istasyonu sayısı artmaktadır. Bu nedenle ortamdaki RM EMA maruziyet seviyesi daha yoğun nüfuslu yerlerde daha yüksek çıkabilmektedir.

Bununla birlikte mobil ölçümü yapılan haftanın günleri içerisinde Çarşamba günü ortalama elektrik alan şiddeti değerinin en yüksek olduğu gün olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle Çarşamba gününe ait FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800, UMTS ve Toplam bandlarının mobil ölçüm değerleri için üç boyutlu ve kontur haritaları hazırlanmıştır. Üç boyutlu harita ile her bir band içerisinde yüksek değerlere sahip elektrik alan şiddeti değerleri harita üzerinde tepeler şeklinde yükseklikler oluşturmaktadırlar. Bu yükseklikler üç boyutlu harita üzerinde açık bir şekilde gösterilmektedir. Böylece bu yüksek değerlerin diğer değerlere olan oranı yükseklik farkından dolayı açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca kontur haritaları yardımıyla da diğer ölçüm değerlerine göre daha yüksek değerlere sahip elektrik alan şiddeti değerlerinin harita üzerindeki konumu belirgin bir şekilde görülmektedir. Böylece bu haritalar yardımıyla elektromanyetik alan kaynağı sayılabilecek yerler tespit edilebilmektedir.

İstatistiksel analizler için günlük mobil ölçüm örnek sayısı 472'ye ve haftalık mobil ölçüm örnek sayısı ise 3304'e eşitlenmiştir. FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800, UMTS ve Toplam bandların dağılımının Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile normal dağılıma uymadığı ve bununla birlikte bağımsız değişkenler arasında varyansların Levene testine göre homojen olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandları arasında standart sapma ve varyans değişimi en fazla UMTS bandında ve en az ise TV3 bandında görülmüştür.

Haftalık mobil ölçümlerde Toplam band için haftanın günleri arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla parametrik olmayan testlerden Spearman's Rho korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Böylece Toplam band için birbirine en çok benzeyen günlerin Pazartesi ve Çarşamba günleri olduğu ve Spearman's Rho korelasyon katsayısının mobil ölçümler içerisinde en yüksek değer olan 0.652 aldığı tespit edilmiştir. Daha sonra birbirine en çok benzeyen günlerin Cuma ve Pazar günleri olduğu ve Spearman's Rho korelasyon katsayısının ise 0.612 olduğu bulunmuştur. Son olarak, yedi günlük mobil ölçümlerde Toplam band için birbirine en az benzeyen günlerin Perşembe ve Pazar günlerinin olduğu ve Spearman's Rho korelasyon katsayısının mobil ölçümler içerisinde en düşük değer olan 0.223 aldığı tespit edilmiştir. Periyodik olarak yapılan haftalık ölçümlerde de elektromanyetik alan dağılımının benzer olduğu gözlemlenmiştir.

FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandlarının Toplam banda olan katkıları yani ortamın toplam RF EMA maruziyetine olan katkıları ayrı ayrı incelenmiştir. Yapılan bu incelemeler sonucunda bir haftalık mobil ölçümlerin

ortalama E değerleri dikkate alındığında en yüksek ortalama E değerinden en düşük ortalama E değerine sahip bandlar sırası ile UMTS, GSM 900, GSM 1800, TV4-5, FM ve TV3 şeklinde sıralanmıştır. Böylece ortamın toplam RF EMA maruziyet seviyesine en büyük katkıyı sağlayan bandın mobil ölçümü yapılmış bandlar arasında UMTS bandı olduğu ve en az katkıyı sağlayan bandın ise TV3 bandı olduğu anlaşılmıştır.

Diyarbakır İl Merkezi'nde yapılan mobil ölçümlerin tematik haritaları ile Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde yapılan mobil ölçümün tematik haritasının ortak kısımları arasında büyük bir benzerlik olduğu görülmüştür. Bu benzerliğin en büyük nedeni ise üç mobil ağ operatörünün de aradan geçen bu zaman zarfında kampüse yeni bir baz istasyonu kurmamış olması olarak görülmüştür. Böylece kampüs ortamındaki RF EMA maruziyet seviyesini etkileyecek büyük bir değişim oluşmamıştır. Ayrıca Dicle Üniversitesi Kampüsü'nde yapılan mobil ölçüm sonucunda da ortamdaki RF EMA maruziyet seviyesine en büyük katkıyı sağlayan bandın UMTS bandı olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak kampüsteki RF EMA maruziyet seviyesine en küçük katkıyı sağlayan bandın ise TV3 bandı olduğu gözlemlenmiştir.

ICNIRP'nin genel halk sağlığı ve meslek maruziyeti için hazırlamış olduğu kılavuzlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu kılavuzlardaki elektrik alan şiddeti ve manyetik alan şiddeti değerleri için önerilen referans değerleri ile FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800, UMTS ve Toplam bandın RF EMA maruziyet seviyeleri karşılaştırılmıştır. Tüm mobil ölçümler uzak alanda yapılmıştır. Dolayısıyla elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğu arasındaki ilişki ilgili denklemlerle gösterilmiştir.

Mobil ölçümlerde FM bandı için ölçülen en yüksek anlık E değerinin $0.3389 V/m$, TV3 bandı için ölçülen en yüksek anlık E değerinin $0.0991 V/m$, TV4-5 bandı için ölçülen en yüksek anlık E değerinin $0.6066 V/m$, GSM 900 bandı için ölçülen en yüksek anlık E değerinin $3.8580 V/m$, GSM 1800 bandı için ölçülen en yüksek anlık E değerinin $2.9440 V/m$ ve son olarak, UMTS bandı için ölçülen en yüksek anlık E değerinin $6.0900 V/m$ olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ICNIRP'nin zamanla değişen E değerleri için önermiş olduğu E referans seviyesi FM ve TV3 bandları için $28 V/m$, TV4-5 bandı için yaklaşık ($800 MHz$ için) $39 V/m$, GSM 900 bandı için yaklaşık ($900 MHz$ için) $41 V/m$, GSM 1800 bandı için yaklaşık ($1800 MHz$ için) $58 V/m$ ve son olarak, UMTS bandı için ise $61 V/m$ 'dir.

Tüm bunlar dikkate alındığında, FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandlarının ölçülen en yüksek anlık E değerinin bile ICNIRP'nin genel halk sağlığı ve meslek maruziyeti için hazırlamış olduğu kılavuzlarda yer alan zamanla değişen E değerleri için önermiş olduğu E referans seviyelerinin altında kaldığı görülmüştür. Mobil ölçümlerde elde edilen E değerleri H değerlerine dönüştürüldüğünde de yine ICNIRP'nin genel halk sağlığı ve meslek maruziyeti için önermiş olduğu H referans seviyelerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak Diyarbakır İl Merkezi'nde periyodik olarak FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 ve UMTS bandları için haftalık yapılan mobil ölçümlerde elde edilen en yüksek ölçüm değerlerinin dahi ICNIRP'nin genel halk sağlığı ve meslek maruziyeti için önermiş olduğu referans seviyelerinin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Gelecekte yapılabilecek çalışmalardan biri mobil ölçümler için izlenen güzergâhın daha fazla genişletilebilmesi olabilir. Böylece işlek ana yolların dışında birçok cadde ve sokak ölçüm güzergâhına dâhil edilerek buralardaki RF EMA hakkında da fikir sahibi olunabilir. Ayrıca alınan mobil ölçüm örnekleri arasındaki zamanı çok fazla uzatmadan yeni RF EMA bandları mobil ölçümlere dâhil edilebilir.

Mobil ölçümler periyodik olarak yapılarak haftalar, aylar hatta yıllar arasında istatistiksel analizler ile karşılaştırmalar yapılabilir. Böylelikle ortamdaki RF EMA'nın zamanla nasıl değiştiği gözlemlenmiş olunur.

Kreş, okul, hastane gibi özel yerlerin mümkünse her tarafı ölçülerek bu hassas yerlerin çevresindeki RF EMA maruziyet seviyelerinin referans seviyelerinin altında olduğundan emin olunmalıdır.

Son olarak, mobil ağ operatörleri yeni baz istasyonları planlarken ve kurarken sayısal uydu haritaları üzerinde gösterilen tematik haritaları da dikkate alarak yapmaları insan sağlığı için daha faydalı olacaktır. Dolayısıyla en yüksek RF EMA maruziyet seviyesine sahip noktalardan gerekirse kaçınılarak o noktalardaki maruziyet seviyesi daha fazla artırılmamış olunur. Böylece insan sağlığını RF EMA'nın potansiyel tehlikelerinden korumak için bir adım daha atılmış olunacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] G. Berg, J. Schüz, F. Samkange-Zeeb, M. Blettner, Assessment of radiofrequency exposure from cellular telephone daily use in an epidemiological study: German Validation study of the international case–control study of cancers of the brain—INTERPHONE-Study, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 15 (2005) 217–224. doi:10.1038/sj.jea.7500390.
- [2] S. Dasdag, M.Z. Akdag, F. Aksen, M. Bashan, H. Buyukbayram, Does 900 MHz GSM mobile phone exposure affect rat brain?, *Electromagn. Biol. Med.* 23 (2004) 201–214. doi:10.1081/JBC-200044231.
- [3] G. Neubauer, M. Feychting, Y. Hamnerius, L. Kheifets, N. Kuster, I. Ruiz, et al., Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations, *Bioelectromagnetics.* 28 (2007) 224–230. doi:10.1002/bem.20298.
- [4] M. Rössli, Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: A systematic review, *Environ. Res.* 107 (2008) 277–287. doi:10.1016/j.envres.2008.02.003.
- [5] J.F. Viel, E. Cardis, M. Moissonnier, R. de Seze, M. Hours, Radiofrequency exposure in the French general population: Band, time, location and activity variability, *Environ. Int.* 35 (2009) 1150–1154. doi:10.1016/j.envint.2009.07.007.
- [6] S.D. Celikozlu, M.S. Ozyurt, A. Cimbiz, M.Y. Yardimoglu, M.K. Cayci, Y. Ozay, The effects of long-term exposure of magnetic field via 900-MHz GSM radiation on some biochemical parameters and brain histology in rats, *Electromagn. Biol. Med.* 31 (2012) 344–355. doi:10.3109/15368378.2012.662192.
- [7] F. Samkange-Zeeb, G. Berg, M. Blettner, Validation of self-reported cellular phone use., *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 14 (2004) 245–248. doi:10.1038/sj.jea.7500321.
- [8] M. Vrijheid, Validation of short term recall of mobile phone use for the Interphone study, *Occup. Environ. Med.* 63 (2006) 237–243. doi:10.1136/oem.2004.019281.
- [9] H.-P. Hutter, Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations, *Occup.*

- Environ. Med. 63 (2006) 307–313. doi:10.1136/oem.2005.020784.
- [10] J. Schüz, S. Mann, A discussion of potential exposure metrics for use in epidemiological studies on human exposure to radiowaves from mobile phone base stations, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 10 (1999) 600–5. doi:10.1038/sj.jea.7500115.
- [11] L. Kheifets, R. Shimkhada, Childhood leukemia and EMF: Review of the epidemiologic evidence, *Bioelectromagnetics.* 26 (2005). doi:10.1002/bem.20139.
- [12] E.R. Adair, D.W. Blick, S.J. Allen, K.S. Mylacraine, J.M. Ziriach, D.M. Scholl, Thermophysiological responses of human volunteers to whole body RF exposure at 220 MHz, *Bioelectromagnetics.* 26 (2005) 448–461. doi:10.1002/bem.20105.
- [13] J. Schüz, E. Böhler, G. Berg, B. Schlehofer, Cellular Phones, Cordless Phones, and the Risks of Glioma and Meningioma (Interphone Study Group, Germany), *Am. J. Epidemiol.* 163 (2006) 512–520. doi:10.1093/aje/kwj068.
- [14] A. Trunk, G. Stefanics, N. Zentai, Z. Kovács-Bálint, G. Thuróczy, I. Hernádi, No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection, *Bioelectromagnetics.* 34 (2013) 31–42. doi:10.1002/bem.21740.
- [15] G. Abdel-Rassoul, O.A. El-Fateh, M.A. Salem, A. Michael, F. Farahat, M. El-Batanouny, et al., Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations, *Neurotoxicology.* 28 (2007) 434–440. doi:10.1016/j.neuro.2006.07.012.
- [16] M.N. Halgamuge, Pineal Melatonin Levels Disruption on Human Due to Electromagnetic Fields and ICNIRP Limits, *Radiat. Prot. Dosimetry.* 154 (2013) 405–416. doi:10.1093/rpd/ncs255.
- [17] H. Dolk, G. Shaddick, P. Walls, C. Grundy, B. Thakrar, Cancer Incidence near Radio and Television Transmitters in Great Britain, 145 (1997).
- [18] M. Kabuto, H. Nitta, S. Yamamoto, N. Yamaguchi, S. Akiba, Y. Honda, et al., Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: A case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan, *Int. J. Cancer.* 119 (2006) 643–650. doi:10.1002/ijc.21374.

- [19] S. Lonn, A. Ahlbom, P. Hall, M. Feychting, Swedish Interphone Study Group, Long-Term Mobile Phone Use and Brain Tumor Risk, 161 (2005) 526–535. doi:10.1093/aje/kwi091.
- [20] A. Lahkola, T. Salminen, A. Auvinen, Selection bias due to differential participation in a case-control study of mobile phone use and brain tumors, *Ann. Epidemiol.* 15 (2005) 321–325. doi:10.1016/j.annepidem.2004.12.009.
- [21] A. Ahlbom, A. Green, L. Kheifets, D. Savitz, A. Swerdlow, Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure, *Environ. Health Perspect.* 112 (2004) 1741–1754. doi:10.1289/ehp.7306.
- [22] IARC, IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans, *Int. Agency Res. Cancer, Press* 2008 (2011) 1–6. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:IARC+classifies+Radiofrequency+Electromagnetic+Fields+as+possibly+carcinogenic+to+humans#0>.
- [23] A. Balmori, O. Hallberg, The urban decline of the house sparrow (*Passer domesticus*): a possible link with electromagnetic radiation., *Electromagn. Biol. Med.* 26 (2007) 141–51. doi:10.1080/15368370701410558.
- [24] A. Balmori, Possible Effects of Electromagnetic Fields from Phone Masts on a Population of White Stork (*Ciconia ciconia*), *Electromagn. Biol. Med.* 24 (2005) 109–119. doi:10.1080/15368370500205472.
- [25] M. Tkalec, K. Malarić, B. Pevalek-Kozlina, Influence of 400, 900, and 1900 MHz electromagnetic fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity, *Bioelectromagnetics.* 26 (2005) 185–193. doi:10.1002/bem.20104.
- [26] V. Balodis G. Brumelis, K. Kalvickis, O. Nikodemus, D. Tjarve and V. Znotina, Does the Skrunda Radio Location Station diminish the radial growth of pine trees?, *Sci. Total Environ.* 180 (1996) 57–64. doi:S.
- [27] WHO, Framework for developing health-based electromagnetic field standards, (2006) 42. [http://www.who.int/peh-emf/standards/EMF_standards_framework\[1\].pdf?ua=1](http://www.who.int/peh-emf/standards/EMF_standards_framework[1].pdf?ua=1).
- [28] ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), *Health Phys.* 74 (1998) 494–522. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:ICNIRP+GUIDELINES+FOR+LIMITING+EXPOSURE+TO+TIME+?+VARYING>

+ELECTRIC+,+MAGNETIC+AND+ELECTROMAGNETIC#2.

- [29] IEEE, IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE Std C95.1-2005 (Revision IEEE Std C95.1-1991). 2005 (2005) 0_1–238. doi:10.1109/IEEESTD.2006.99501.
- [30] FCC, Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, (1997).
- [31] <http://www.btk.gov.tr>
- [32] P. Frei, E. Mohler, A. Bürgi, J. Fröhlich, G. Neubauer, C. Braun-Fahrländer, et al., A prediction model for personal radio frequency electromagnetic field exposure., *Sci. Total Environ.* 408 (2009) 102–108. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.09.023.
- [33] K. Radon, H. Spegel, N. Meyer, J. Klein, J. Brix, A. Wiedenhofer, et al., Personal dosimetry of exposure to mobile telephone base stations? An epidemiologic feasibility study comparing the Maschek dosimeter prototype and the Antennessa DSP-090 system, *Bioelectromagnetics.* 27 (2006) 77–81. doi:10.1002/bem.20175.
- [34] J.F.B. Bolte, T. Eikelboom, Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in the Netherlands: Exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area, *Environ. Int.* 48 (2012) 133–142. doi:10.1016/j.envint.2012.07.006.
- [35] D. Urbinello, W. Joseph, A. Huss, L. Verloock, J. Beekhuizen, R. Vermeulen, et al., Radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels in different European outdoor urban environments in comparison with regulatory limits, *Environ. Int.* 68 (2014) 49–54. doi:10.1016/j.envint.2014.03.007.
- [36] M. Rösli, P. Frei, E. Mohler, C. Braun-Fahrländer, A. Bürgi, J. Fröhlich, et al., Statistical analysis of personal radiofrequency electromagnetic field measurements with nondetects., *Bioelectromagnetics.* 29 (2008) 471–478. doi:10.1002/bem.20417.
- [37] D. Urbinello, A. Huss, J. Beekhuizen, R. Vermeulen, M. Rösli, Use of portable exposure meters for comparing mobile phone base station radiation in different types of areas in the cities of Basel and Amsterdam, *Sci. Total Environ.* 468-469 (2014) 1028–1033. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.09.012.

- [38] P. Frei, E. Mohler, G. Neubauer, G. Theis, A. Burgi, J. Frohlich, et al., Temporal and spatial variability of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields, *Environ. Res.* 109 (2009) 779–785. <http://search.proquest.com/docview/289870142?accountid=15533>.
- [39] W. Joseph, P. Frei, M. Roösli, G. Thuróczy, P. Gajsek, T. Treck, et al., Comparison of personal radio frequency electromagnetic field exposure in different urban areas across Europe, *Environ. Res.* 110 (2010) 658–663. doi:10.1016/j.envres.2010.06.009.
- [40] O. Lauer, G. Neubauer, M. Röösl, M. Riederer, P. Frei, E. Mohler, et al., Measurement setup and protocol for characterizing and testing radio frequency personal exposure meters, *Bioelectromagnetics.* 33 (2012) 75–85. doi:10.1002/bem.20687.
- [41] M. Roosli, P. Frei, J. Bolte, G. Neubauer, E. Cardis, M. Feychting, et al., Conduct of a personal radiofrequency electromagnetic field measurement study: proposed study protocol, *Env. Heal.* 9 (2010) 23. doi:1476-069X-9-23 [pii]\r10.1186/1476-069X-9-23.
- [42] G. Thuróczy, F. Molnár, G. Jánossy, N. Nagy, G. Kubinyi, J. Bakos, et al., Personal RF exposimetry in urban area, *Ann. Telecommun. - Ann. Des Télécommunications.* 63 (2008) 87–96. doi:10.1007/s12243-007-0008-z.
- [43] D. Urbinello, M. Röösl, Impact of one’s own mobile phone in stand-by mode on personal radiofrequency electromagnetic field exposure, *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 23 (2013) 545–548. doi:10.1038/jes.2012.97.
- [44] S. Iskra, R. McKenzie, I. Cosic, Factors influencing uncertainty in measurement of electric fields close to the body in personal RF dosimetry, *Radiat. Prot. Dosimetry.* 140 (2010) 25–33. doi:10.1093/rpd/ncp309.
- [45] J.-F. Viel, M. Tiv, M. Moissonnier, E. Cardis, M. Hours, Variability of radiofrequency exposure across days of the week: A population-based study, *Environ. Res.* 111 (2011) 510–513. doi:10.1016/j.envres.2011.02.015.
- [46] S. Mann, Assessing personal exposures to environmental radiofrequency electromagnetic fields, *Comptes Rendus Phys.* 11 (2010) 541–555. doi:10.1016/j.crhy.2010.11.005.
- [47] J.F.B. Bolte, G. van der Zande, J. Kamer, Calibration and uncertainties in personal exposure measurements of radiofrequency electromagnetic fields,

- Bioelectromagnetics. 32 (2011) 652–663. doi:10.1002/bem.20677.
- [48] S. Thomas, A. Kühnlein, S. Heinrich, G. Praml, R. von Kries, K. Radon, Exposure to mobile telecommunication networks assessed using personal dosimetry and well-being in children and adolescents: the German MobilEe-study., *Environ. Health*. 7 (2008) 54. doi:10.1186/1476-069X-7-54.
- [49] U. Knafl, H. Lehmann, M. Riederer, Electromagnetic field measurements using personal exposimeters, *Bioelectromagnetics*. 29 (2008) 160–162. doi:10.1002/bem.20373.
- [50] M. Cansız, A.R. Celik, M.B. Kurt, 50 Hz Şebeke Frekansında Elektrik ve Manyetik Alan Şiddetlerinin Ölçülmesi ve Ölçüm Sonuçlarının ICNIRP'nin Halk Maruziyeti Limitlerine Göre Karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.* (2014).
- [51] A. Bürgi, P. Frei, G. Theis, E. Mohler, C. Braun-Fahrländer, J. Fröhlich, et al., A model for radiofrequency electromagnetic field predictions at outdoor and indoor locations in the context of epidemiological research, *Bioelectromagnetics*. 31 (2010) 226–236. doi:10.1002/bem.20552.
- [52] P. Bechet, S. Miclaus, A.C. Bechet, An analysis of the dependence of the electromagnetic exposure level in indoor environment on traffic direction, instantaneous data rate and position of the devices in a WLAN network, *Measurement*. 67 (2015) 34–41. doi:10.1016/j.measurement.2015.02.035.
- [53] F.T. Pachón-García, K. Fernández-Ortiz, J.M. Paniagua-Sánchez, Assessment of Wi-Fi radiation in indoor environments characterizing the time & space-varying electromagnetic fields, *Measurement*. 63 (2015) 309–321. doi:10.1016/j.measurement.2014.12.002.
- [54] M.D. Calin, C. Ursachi, E. Helerea, *Electromagnetic Environment Characteristics in an Urban Area*, (2006).
- [55] S. Ozen, S. Helhel, O.H. Colak, Electromagnetic field measurements of radio transmitters in urban area and exposure analysis, *Microw. Opt. Technol. Lett.* 49 (2007) 1572–1578. doi:10.1002/mop.22548.
- [56] P. Bienkowski, B. Zubrzak, Electromagnetic fields from mobile phone base station – variability analysis, *Electromagn. Biol. Med.* 34 (2015) 257–261. doi:10.3109/15368378.2015.1076441.

- [57] L. Korpinen, R. Paakkonen, Examples of occupational exposure to electric and magnetic fields at 110-kV gas-insulated substations (GISs), *Radiat. Prot. Dosimetry*. 163 (2015) 394–397. doi:10.1093/rpd/ncu200.
- [58] J.M. Paniagua, M. Rufo, A. Jimenez, F.T. Pachon, J. Carrero, Exposure estimates based on broadband ELF magnetic field measurements versus the ICNIRP multiple frequency rule, *Radiat. Prot. Dosimetry*. 163 (2015) 173–180. doi:10.1093/rpd/ncu175.
- [59] A. Bürgi, G. Theis, A. Siegenthaler, M. Rösli, Exposure modeling of high-frequency electromagnetic fields., *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 18 (2008) 183–191. doi:10.1038/sj.jes.7500575.
- [60] W.S. Boivin, S.M. Boyd, J.N. Coletta, C.D. Harris, L.M. Neunaber, Measurement of electromagnetic field strengths in urban and suburban hospital operating rooms, *Proc. 19th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 'Magnificent Milestones Emerg. Oppor. Med. Eng. (Cat. No.97CH36136)*. 6 (1997). doi:10.1109/IEMBS.1997.756847.
- [61] 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, *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 46 (2013) 3002–3009. doi:10.1016/j.measurement.2013.06.021.
- [62] P. Baltrėnas, R. Buckus, Measurements and analysis of the electromagnetic fields of mobile communication antennas, *Measurement*. 46 (2013) 3942–3949. doi:10.1016/j.measurement.2013.08.008.
- [63] L.C. McCallum, M.L. Whitfield Aslund, L.D. Knopper, G.M. Ferguson, C. a Ollson, Measuring electromagnetic fields (EMF) around wind turbines in Canada: is there a human health concern?, *Environ. Health*. 13 (2014) 9. doi:10.1186/1476-069X-13-9.
- [64] N.B. Teşneli, A.Y. Teşneli, Occupational exposure to electromagnetic fields of uninterruptible power supply industry workers, *Radiat. Prot. Dosimetry*. 162 (2014) 289–298. doi:10.1093/rpd/nct340.
- [65] T.G. Cooper, S.M. Mann, M. Khalid, R.P. Blackwell, Public exposure to radio waves near GSM microcell and picocell base stations., *J. Radiol. Prot.* 26 (2006) 199–211. doi:10.1088/0952-4746/26/2/005.
- [66] S.C. Da Cruz, M.H.C. Dias, G.L. Siqueira, Selective RF power density measurements radiated by mobile telephony RBS in Rio de Janeiro city,

- 35th Eur. Microw. Conf. 2005 - Conf. Proc. 3 (2005) 1671–1674.
doi:10.1109/EUMC.2005.1610278.
- [67] M. Koprivica, M. Petrić, N. Nešković, A. Nešković, Statistical analysis of electromagnetic radiation measurements in the vicinity of indoor microcell GSM/UMTS base stations in Serbia, *Bioelectromagnetics*. 37 (2016) 69–76. doi:10.1002/bem.21946.
- [68] L. Verloock, W. Joseph, F. Goeminne, L. Martens, M. Verlaek, K. Constandt, Temporal 24-hour assessment of radio frequency exposure in schools and homes, *Measurement*. 56 (2014) 50–57. doi:10.1016/j.measurement.2014.06.012.
- [69] T. Karadağ, M. Yüceer, T. Abbasov, A large-scale measurement, analysis and modelling of electromagnetic radiation levels in the vicinity of GSM/UMTS base stations in an urban area, *Radiat. Prot. Dosimetry*. 168 (2015) 134–147. doi:10.1093/rpd/ncv008.
- [70] Ö. Genç, M. Bayrak, E. Yıldız, Analysis of the effects of GSM bands to the electromagnetic pollution in the rf spectrum, *Prog. Electromagn. Res.* (2010) 17–32.
- [71] M. Cansız, T. Abbasov, M.B. Kurt, A.R. Celik, Mobile measurement of radiofrequency electromagnetic field exposure level and statistical analysis, *Measurement*. (2016). doi:10.1016/j.measurement.2016.02.056.
- [72] M. Cansız, M.B. Kurt, Drive Test Yöntemi ile Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Derg.* 17 (2012) 101–110.
- [73] M. Cansız, T. Abbasov, M.B. Kurt, A.R. Celik, FM ve TV Vericilerinin Elektromanyetik Alan Maruziyet Seviyelerinin Ölçülmesi ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi, *EMANET 2015 Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu*. (2015).
- [74] W. Joseph, S. Aerts, M. Vandenbossche, A. Thielens, L. Martens, Drone based measurement system for radiofrequency exposure assessment, *Bioelectromagnetics*. 37 (2016) 195–199. doi:10.1002/bem.21964.
- [75] 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 (2000) 376–385. doi:10.1109/15.902307.

- [76] Narda, Applicaton Note Measurements on radio and TV transmitters, (2010) 1–12.
- [77] S. Haykin, Communication Systems, Third Edit, John Wiley & Sons, USA, 1994.
- [78] <http://www.itu.int/en/Pages/default>
- [79] Narda, Applicaton Note UMTS measurements with the Selective Radiation Meter, (2008) 1–11.
- [80] <http://alpcentauri.info/faraday1>
- [81] W.H. Hayt, J.A. Buck, Engineering Electromagnetics, Eighth Edi, McGraw-Hill Education, USA, 2011.
- [82] D.K. Cheng, Mühendislik Elektromanyetiginin Temelleri, İkinci bsk, Palme Yayıncılık, Ankara, 2012.
- [83] R.E. Dubroff, S. V. Marshall, G.G. Skitek, Electromagnetic Concepts and Applications, Fourth Edi, Prentice Hall, USA, 1996.
- [84] https://en.wikipedia.org/wiki/Near_and_far_field#Reactive_near_field.2C_or_the_nearest_part_of_the_near_field
- [85] C.A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, Third Edit, Wiley-Interscience, USA, 2005.
- [86] W.L. Stutzman, G.A. Thiele, Antenna Theory and Design, Second Edi, John Wiley & Sons, USA, 1998.
- [87] <http://www.elti.com/p/18/28/fm-yagi-antennas>
- [88] <https://www.kathrein.com>
- [89] <http://www1.huawei.com/en/products/radio-access/antenna-bak20160210/index.htm>
- [90] <http://powerwave.co.th/antennas.html>
- [91] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz),. Health Phys. 99 (2010) 818–36. doi:10.1097/HP.0b013e3181f06c86.
- [92] <https://www.narda-sts.com/en>
- [93] Narda, SRM-3006 Selective Radiation Meter Operating Manual, (2012).

- [94] Narda, Antenna Parameters : Antenna Gain , Directivity , and Conversion Factor, (2008) 1–4.
- [95] <http://www.hp.com>
- [96] <http://bloodshed.net/devcpp.html>
- [97] MapInfo, MapInfo Professional Version 10.0.1 Release Build 220, MapInfo Prof. Version 10.0.1 Release Build 220. (2009).
- [98] Ş. Kalaycı, SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Altıncı Bs, Asil Yayın, Ankara, 2014.
- [99] SPSS, IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0, IBM Corp, Armonk, Newyork, USA, 2012.
- [100] A. Papoulis, S.U. Pillai, Probability, Random Variables and Stochastic Processes, McGraw-Hill, 2002.
- [101] H. Hsu, Schaum's Outline of Probability, Random Variables, and Random Processes, Third Edit, McGraw-Hill, 2014.
- [102] A. Leon-Garcia, Probability, Statistics, and Random Processes For Electrical Engineering, Third Edit, Prentice Hall, 2007.
- [103] F. Hansen, F.I. Meno, Mobile Fading-Rayleigh and Lognormal Superimposed, IEEE Trans. Veh. Technol. (1977) 332–335. doi:10.1109/TVT.1977.23703.
- [104] W.C. Lee, Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio Signal, IEEE Trans. Veh. Technol. 34 (1985) 22–27. doi:10.1109/TVT.1985.24030.
- [105] <http://www.tuik.gov.tr>

EKLER

EK 1. SRM-3006 spektrum analizör cihazının seri port komutları

Narda firmasına ait SRM-3006 spektrum analizör cihazının seri port komutlarının kullanımı ile ilgili bazı bilgiler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Sembol	Anlamı
< >	Eleman tanımlama
	Exclusive OR
{ }	Eleman grubu
[]	Opsiyon alanı
()	Yorum

Hata Kodları

Kod	Tanımı
0	no error
401	remote command is not implemented in the remote module
402	invalid parameter
403	invalid count of parameters
404	invalid parameter range
405	last command is not completed
406	answer time between remote module and application module is too high
407	invalid or corrupt data
408	error while accessing the hardware
409	command is not supported in this version of the application module
410	remote is not activated (please send "REMOTE ON;" first)
411	command is not supported in the selected mode
412	memory of data logger is full
413	option code is invalid
414	incompatible version
415	subindex full
416	file counter full
417	data lost
418	checksum error
419	programming not successfull
420	path not found
421	break detected
422	low battery
423	file open error
424	data verify error

Genel Kodlar

DEV_ID?	Queries the device identification number
DEV_INFO?	Queries device information that describes the individual device
DEV_OPTION	Activates a device option
DEV_OPTION?	Queries the options prepared and activated in the device
ERROR?	Queries the current error code
MEAS_START	Starts the cyclical measurement in the current operating mode
MEAS_STOP	Stops the cyclical measurement in the current operating mode
MODE	Sets the current operating mode
MODE?	Queries the current operating mode
MR_LIST?	Queries the current possible reference level settings
PROG_EXIT	Ends the measurements and switches the device to standby
RBW_LIST?	Queries the current possible RBW settings
REMOTE	Activates / deactivates remote communication
REMOTE?	Queries readiness for remote operation
RESULT_TYPE_RESET	Resets all measurement runs (traces) to default values
RESULT_TYPE_RESET_MIN_MAX	Resets the Min and Max traces to default values
UNIT	Sets the current unit setting
UNIT?	Queries the current unit setting
UNIT_LIST?	Queries the current possible unit settings
VBW_LIST?	Queries the current possible VBW settings
VERSION?	Queries the versions of the current firmware modules

Seviye Modları

LEVEL?	Queries the different measurement runs (traces)
LEVEL_AVG_CONFIG	Sets the current averaging method
LEVEL_AVG_CONFIG?	Queries the current averaging method
LEVEL_AVG_LIST?	Queries the current possible averaging settings
LEVEL_CONFIG	Sets the current measurement parameters for LEVEL mode
LEVEL_CONFIG?	Queries the current measurement parameters for LEVEL mode
SWEEP_STATE?	Queries the status and progress of the current measurement

Güvenlik Modları

SAFETY?	Queries one or more measurement runs (traces) in Safety mode
SAFETY_AVG_CONFIG	Sets the current averaging method
SAFETY_AVG_CONFIG?	Queries the current averaging method
SAFETY_AVG_LIST?	Queries the current possible averaging settings
SAFETY_CONFIG	Sets the current measurement parameters for Safety mode
SAFETY_CONFIG?	Queries the current measurement parameters for Safety mode
SWEEP_STATE?	Queries the status and progress of the current measurement

Spektrum Modu

SPECTRUM?	Queries one or more measurement runs in Spectrum mode
SPECTRUM_AVG_CONFIG	Sets the current averaging method
SPECTRUM_AVG_CONFIG?	Queries the current averaging method
SPECTRUM_AVG_LIST?	Queries the current possible averaging settings
SPECTRUM_BI_VALUE?	Band Integration over Frequency
SPECTRUM_MRK_HIGHEST?	Queries the marker values for the highest measurement value
SPECTRUM_MRK_IDX_VALUE?	Queries the marker values for a selected marker
SPECTRUM_MRK_VALUE?	Queries the marker values for a specified frequency point
SPECTRUM_PKT_TABLE?	Queries a configurable peak table
SPECTRUM_CONFIG	Sets the current measurement parameters for Spectrum mode
SPECTRUM_CONFIG?	Queries the current measurement parameters for Spectrum
SWEEP_STATE?	Queries the status and progress of the current measurement

UMTS Modu

UMTS?	Queries the different measurement runs (traces)
UMTS_AVG_CONFIG	Sets the current averaging method
UMTS_AVG_CONFIG?	Queries the current averaging method
UMTS_AVG_LIST?	Queries the current possible averaging settings
UMTS_CONFIG	Sets the current measurement parameters for UMTS mode
UMTS_CONFIG?	Queries the current measurement parameters for UMTS mode
UMTS_RESET_TABLE	Resets the UMTS channel table
SWEEP_STATE?	Queries the status and progress of the current measurement

LTE Modu

LTE?	Queries the different measurement runs (traces)
LTE_AVG_CONFIG	Sets the current averaging method
LTE_AVG_CONFIG?	Queries the current averaging method
LTE_AVG_LIST?	Queries the current possible averaging settings
LTE_CONFIG	Sets the current measurement parameters for LTE mode
LTE_CONFIG?	Queries the current measurement parameters for LTE mode
LTE_RESET_TABLE	Resets the table for LTE results (Cell IDs)
SWEEP_STATE?	Queries the status and progress of the current measurement

Tarih ve Zaman

DATE	Sets the current date setting for the device
DATE?	Queries the current date setting for the device
TIME	Sets the current system time of the device
TIME?	Queries the current system time of the device

Data Kaydedici

DL_CLR	Deletes a selected data set
DL_CLR_ALL	Deletes all data sets
DL_DATA?	Queries a sub data set
DL_INFO?	Queries overview information for a data set
DL_INFO_SUB?	Queries overview information for a sub data set
DL_MEMORY?	Queries the free memory space available for storing data sets
DL_NUMBER?	Queries the number of saved data sets
DL_STORE	Saves a data set in the current measurement mode
DL_VOICE?	Queries the voice comment of a data set in PCM wave format
SCR_CLR	Deletes a selected screenshot
SCR_CLR_ALL	Deletes all screenshots
SCR_DATA?	Queries a selected screenshot
SCR_INFO?	Queries the additional information for a screenshot
SCR_NUMBER?	Queries the number of existing screenshots

Remote Desktop

LIVESCREEN?	Queries the current device display as a screenshot
SEND_KEY	Activates an operating panel key by remote communication
SEND_ROT_KNOB	Activates rotary control by remote communication

Ayarlar

SU_CLR	Deletes a selected device setup
SU_CLR_ALL	Deletes all device setups
SU_DEFAULT	Resets the device to the default (works) settings
SU_DS	Transfers a setup file to the device
SU_DS?	Reads a setup file out of the device
SU_LIST?	Lists the names of the setups stored in the device
SU_RECALL	Activates a selected device setup
SU_STORE	Saves the current device settings as a new setup in the device

Sevis Tabloları

SRV_CLR	Deletes a service table
SRV_CLR_ALL	Deletes all service tables
SRV_DS	Creates a service table
SRV_DS?	Queries a service table
SRV_LIST?	Queries all service tables without details
SRV_SEL	Sets the current active service table
SRV_SEL?	Queries the current active service table

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Mustafa CANSIZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Diyarbakır 1976

Adres: Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği
Bölümü 21280 Diyarbakır

E-posta: mustafa.cansiz@dicle.edu.tr

Lisans: Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik
Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik
Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim: Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.'de RF Planlama ve Optimizasyon mühendisi olarak 2005 ve 2009 yılların arasında çalıştım. Ematell Ltd. Şirketi'nin kurucu ortağı ve şirket yöneticisi olarak 2009 - 2011 yılları arasında hizmet verdim. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektromanyetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Ana Bilim Dalı'nda 2011 yılından beri öğretim görevlisi olarak çalışmaktayım.