

**ZONGULDAK KENT MERKEZİNİN 100 kHz – 3 GHz FREKANS BANDINDA
ELEKTROMANYETİK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Bülent ÖZGÜMÜŞ

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

ZONGULDAK

Haziran 2010

KABUL:

Bülent ÖZGÜMÜŞ tarafından hazırlanan “ZONGULDAK KENT MERKEZİNİN 100 kHz – 3 GHz FREKANS BANDINDA ELEKTROMANYETİK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 17/06/2010.

Başkan: Doç. Dr. Mahmut ÖZER (ZKÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Zehra SARAÇ (ZKÜ)
(2. Tez Danışmanı)



Üye : Doç. Dr. Ertan ÖZTÜRK (ZKÜ)



Üye : Doç. Dr. Hakan KUTOĞLU (ZKÜ)



Üye : Doç. Dr. Yılmaz YILDIRIM (ZKÜ)



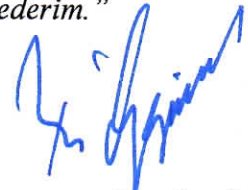
ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım **13.7/2010**



Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Bülent ÖZGÜMÜŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZONGULDAK KENT MERKEZİNİN 100 kHz - 3 GHz FREKANS BANDINDA ELEKTROMANYETİK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Bülent ÖZGÜMÜŞ

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Doç. Dr. Mahmut ÖZER

Yrd. Doç. Dr. Zehra SARAÇ

Haziran 2010, 77 sayfa

Bu tezde, dinamik ölçüm yöntemi kullanılarak, Zonguldak kent merkezinin 100 kHz – 3 GHz RF bölgesinde elektromanyetik (EM) kirliliği araştırılmıştır. Elektromanyetik kirliliğin tespiti; elektromanyetik radyasyon (EMR) ölçüm cihazı, küresel konum belirleme (GPS) cihazı ve taşınabilir bilgisayar sistemlerinden oluşturulan ölçüm düzeneğinin özel bir araca kurularak, planlanan sahalarda hareket halindeyken ölçüm yapılması yoluyla sağlanmıştır. EMR ölçüm cihazından alınan zamana bağlı elektrik alan şiddeti (V/m) ve GPS cihazından alınan zamana bağlı konumu gösteren koordinat değerleri, taşınabilir bir bilgisayara aktararak eşleştirilmiştir. Elektrik alan şiddeti değerleri, 2B ve 3B haritalar üzerinde büyüklük aralıklarına göre renklendirilerek sunulmuştur. Böylece Zonguldak kent merkezi için EM kirlilik haritası oluşturulmuştur. Ölçülen değerler, ulusal ve uluslararası EMR maruziyet limit

ÖZET (devam ediyor)

değerleri ile karşılaştırılmış ve Zonguldak kent merkezinde 100 kHz – 3 GHz RF bölgesinde ölçüm yapılan tarihler için sınır değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: EMR, elektromanyetik kirlilik, Zonguldak, SAR, dinamik ölçüm

Bilim Kodu: 609.04.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC POLLUTION AT FREQUENCY BAND OF THE 100 kHz – 3 GHz OF CENTER OF ZONGULDAK

Bülent ÖZGÜMÜŞ

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Thesis Advisors:

Assoc. Prof. Mahmut ÖZER

Asst. Prof. Zehra SARAÇ

June 2010, 77 pages

In this thesis, electromagnetic (EM) pollution research at the 100 kHz – 3 GHz of RF region of center of Zonguldak was conducted by using dynamic measurement procedure. Determination of electromagnetic pollution was achieved by taking measurements on the planned areas by installing electromagnetic radiation (EMR) measurement device, global positioning system (GPS) device, and mobile PC on a private vehicle board. Time-varying electric field strengths as volt per meter (V/m) measured using EMR device and coordinate values measured using GPS device were loaded to mobile PC on a board of moving vehicle. Values of electric field strengths were presented on 2D and 3D maps according to range intervals by making colorization. Hence, EM pollution map were produced for center of Zonguldak. The measured values were compared with national and international reference levels for the exposure analysis; it was found that the values were under the limit allowed of

ABSTRACT (continued)

national and international values for measurement dates taken at the frequency band of 100 kHz – 3 GHz of center of Zonguldak.

Key Words: EMR, electromagnetic pollution, Zonguldak, SAR, dynamic measurement

Science Code: 609.04.01

TEŞEKKÜR

1986 yılında lisans eğitimimi tamamladıktan 21 yıl sonra (2007-2008 Öğretim Yılındaki kaydımдан tezimi bitirdiğim bugüne kadar) yeniden üniversite ortamında öğrenci olarak araştırma yapmamı teşvik ederek her aşamada beni yüreklendiren, öğrencisi olmakla gurur duyduğum danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mahmut ÖZER'e (ZKÜ), tezin her aşamasında değerli görüş ve düşüncelerinden faydalandığım değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Zehra SARAÇ'a (ZKÜ) en içten sevgi ve saygılarımla teşekkür ediyorum.

Ayrıca, ölçüm sonuçlarının haritalanması sürecinde gerek Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Afet İzleme ve Araştırma Laboratuvarı'nın yazılım-donanım olanaklarının kullanılması, gerekse bilgi ve doküman temini ile özel bir katkı sağlayan Sayın Doç. Dr. Ş. Hakan KUTOĞLU'na (ZKÜ) ve Laboratuvar olanaklarının kullanılmasında yardımları için Sayın Arş. Gör. K. Sedar GÖRMÜŞ'e (ZKÜ) teşekkür ediyorum.

Son olarak hayatımın her yönüne olduğu gibi tez çalışmam sırasında da sağladığı katkılarla en büyük desteği sağlayan, yaptığım ve yapacağım tüm iyi şeylerin nedeni olan en değerli varlıklarım kızım Dilay ve oğlum Onat'ın annesi, sevgili eşim Hasibe ÖZGÜMÜŞ'e sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1 GENEL BİLGİLER	1
BÖLÜM 2 TEMEL ELEKTROMANYETİK KAVRAMLAR	5
2.1 ALANLAR.....	6
2.1.1 Elektrik Alanı.....	6
2.1.2 Manyetik Alan	8
2.1.3 Elektromanyetik Alan	11
2.1.4 Elektromanyetik Dalga.....	12
2.2 ELEKTROMANYETİK İNDÜKSİYON	16
2.3 ELEKTROMANYETİK ENERJİ	18
2.4 ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM.....	19
2.4 ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK.....	21
2.4.1 Elektromanyetik Girişim (EMI)	21
2.4.1 Biyo-Elektromanyetik (BEM)	23
2.4.1.1 Düşük Frekanslı Elektrik Alan Kuplajı	23
2.4.1.2 Düşük Frekanslı Manyetik Alan Kuplajı.....	24
2.4.1.2 EM Dalga Gücünün Soğurulması	24

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 3 ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ	27
3.1 ARAŞTIRMA VE RAPORLAR	27
3.1.1 Reflex	27
3.1.2 Guard	28
3.1.3 Interphone	28
3.1.4 İrlanda Haberleşme, Denizcilik ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Raporu	28
3.1.4.1 Radyo Frekans (RF) Alanlar	29
3.1.4.2 Aşırı Düşük Frekanslı (ELF) Alanlar	29
3.1.4.3 Diğer Sonuçlar	29
3.1.5 Dünya Sağlık Örgütü (WHO;World Health Organization) Çalışma Grubu Raporu	30
3.1.6 Porto Alegre Bildirgesi	32
3.2 TEMEL VE TÜRETİLMİŞ LİMİTLER	33
BÖLÜM 4 ÇALIŞMA ALANI VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	39
4.1 ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI	39
4.2 ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	39
4.3 ÖLÇÜM SİSTEMİ VE ÖLÇÜMLER	43
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
5.1 SONUÇLAR	53
5.2 ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	57
EK AÇIKLAMALAR A EMR MONİTORİNG İNTERNET SİTELERİ	61
EK AÇIKLAMALAR B BTK SAMSUN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ YAZISI	65
EK AÇIKLAMALAR C GPS TEKNİK ÖZELLİKLERİ	69
EK AÇIKLAMALAR D NARDA EMR-300 TEKNİK ÖZELLİKLERİ	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Elektrik alan çizgileri.....	7
2.2 Manyetik alan çizgilerinin akım taşıyan bir iletkenin çevresinde oluşumu	9
2.3 (S) alanından çıkan manyetik akı yoğunluğu.....	11
2.4 Elektromanyetik dalganın z-ekseni boyunca yayılması	13
2.5 Dalga cepheleri.....	16
2.6 Manyetik akı yoğunluğu (B) yoluyla indüklenen akımlar.....	17
2.7 Elektromanyetik spektrum	20
2.9 SAR ölçümü için yapay doku ve simülasyon	25
4.1 Zonguldak kent merkezinden bir görünüm.....	40
4.2 Yaklaşım 1 Hızlı Durum Belirlemesi blok şeması.....	40
4.3 Yaklaşım 2'ye göre ölçüm akışı blok şeması.....	41
4.4 Ölçüm sistemi blok şeması ve görünümü.	43
4.5 Ölçüm düzeninin araç içinde konumlandırılması.....	44
4.6 Test cihazı ve GPS yazılımları ile ölçüm sonuçlarının bilgisayar ekranında görünümü....	45
4.7 Ölçüm değerlerinin text olarak görünümü.	45
4.8 Tüm ölçüm sonuçlarının Google Earth haritada görünümü.....	46
4.9 E- alan şiddeti değeri 0.6 V/m (yeşil) ve üzerinde olan yerler.....	47
4.10 E-alan şiddeti değeri 2 V/m (zeytin) ve üzerinde olan yerler.	47
4.11 E-alan şiddeti değeri 4 V/m (sarı) ve üzerinde olan yerler.	48
4.12 E-alan şiddeti değeri 6 V/m (turuncu) ve üzerinde olan yerler.	48
4.13 E-alan şiddeti değeri 10 V/m (kırmızı) ve üzerinde olan yerler.....	49
4.14 Zonguldak 2B EMR haritası.	50
4.15 Zonguldak 3B EMR haritası.	51
4.16 Kent merkezi ölçüm noktaları yoğunluğu.....	52
5.1 E-alan şiddeti değerinin 10 V/m üzerindeki yerlerin yakın plan görünümü (a ve b).	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	EM kaynak örnekleri.	5
2.2	Temel elektromanyetik alan büyüklükleri.	6
3.1	10 GHz'e kadar frekanslar için zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlar için temel sınırlamalar	36
3.2	Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlar için mesleki ve halk maruziyeti referans seviyeleri.....	37
3.3	Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlar için mesleki ve halk maruziyeti referans seviyeleri.....	38

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
A EMR Monitoring İnternet Siteleri	61
B BTK Samsun Bölge Müdürlüğü Yazısı	65
C GPS Teknik Özellikleri	69
D Narda EMR-300 Teknik Özellikleri	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	Manyetik Akı Yoğunluğu, T
c	Işık hızı
C	Coulomb, elektrik yükü birimi
D	Elektrik akı yoğunluğu, C/m ²
E	Elektrik alan şiddeti, V/m
eV	Elektronvolt, enerji birimi
f	Frekans, Hz
F	Farad, kondansatör birimi
G	Gauss, manyetik akı yoğunluğu birimi
G	Giga, devamındaki ifadeyi milyar kat büyütür
H	Manyetik Alan Şiddeti, A/m
H	Henry, endüktans (bobin) birimi
h	Planck sabiti
Hz	Hertz, frekans birimi
I	Amper, akım birimi
J	Joule, enerji birimi
J	Akım yoğunluğu, A/m ²
k	Kilo, devamındaki ifadeyi bin kat büyütür
M	Mega, devamındaki ifadeyi milyon kat büyütür
N	Newton, kuvvet birimi
Oe	Oersted, manyetik alan şiddeti birimi
P	Poynting güç yoğunluğu, W/m ²
S	Siemens, iletkenlik birimi
T	Tesla, manyetik akı yoğunluğu birimi
V	Volt, potansiyel farkı (gerilim) birimi
q_0	Elektrik yükü, C
W	Watt, güç birimi
Wb	Weber, manyetik akı birimi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

ϵ	Dielektrik geçirgenlik, F/m
ϵ_r	Bağıl geçirgenlik, dielektrik sabiti
η	Ortamın empedansı, Ohm
λ	Dalga boyu
μ	Ortamın manyetik geçirgenliği, H/m
μ_r	Serbest boşluğa göre bağıl geçirgenlik
Φ	Manyetik akı, Wb

KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
ABS	Anti-lock Braking System, Kilitlenmeyen Fren Sistemi
AM	Amplitude Modulation, Genlik Modülasyonu
BEM	Bio-electromagnetic, Biyo-elektromanyetik
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CGS	Centimeter, gram, second (Santimetre, gram, saniye) birim sistemi
COMREG	Commission for Communications Regulation, İrlanda İletişim Düzenleme Komitesi
DNA	Deoxyribonucleic acid, Deoksiribonükleik asit
E-alan	Elektrik alan
EAS	Electronic Article Surveillance, Elektronik Ürün Gözetim
EHS	Electromagnetic hypersensitivity, Elektromanyetik alanlara aşırı hassasiyet
ELF	Extremely Low Frequency, Aşırı Düşük Frekans
EM	Electromagnetic, Elektromanyetik
EMC	Electromagnetic Compability, Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	Electromagnetic Interference, Elektromanyetik Girişim
EMF	Electromagnetic Fields, Elektromanyetik Alan
EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
EMR	Electromagnetic Radiation, Elektromanyetik Radyasyon
EU	European Union, Avrupa Birliği
GHz	Gigahertz
GSM	Global System for Mobile Communications, Küresel Mobil İletişim Sistemi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

H-alan	Manyetik alan
ICEMS	International Commission for Electromagnetic Safety, Uluslararası Elektromanyetik Güvenlik Komitesi
ICES	International Committee on Electromagnetic Safety, Uluslararası Elektromanyetik Güvenlik Komisyonu
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Uluslararası İyonlaştırılmayan Radyasyondan Korunma Komitesi
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IR	Infrared Radiation, Kızılötesi Radyasyon
KHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
MR	Magnetic Resonance, Manyetik Rezonans
PC	Personal Computer, Kişisel Bilgisayar
RF	Radio Frequency, Radyo Frekansı
RFID	Radio Frequency Identification, Radyo Frekansı ile Tanımlama
RFR	Radio Frequency Radiation, Radyo Frekans Radyasyon
SA	Specific energy Absorption, Özgül soğurma
SAR	Specific energy Absorption Rate, Özgül soğurma oranı
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TV	Television, Televizyon
UV	Ultraviolet, Ultraviyole
VLF	Very Low Frequency, Çok Düşük Frekans
WHO	World Health Organization, Dünya Sağlık Örgütü
Wi-Fi	Wireless Fidelity, Kablosuz bağlantı
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access, IEEE 802-16 kablosuz hızlı internet erişimi standardı için sertifika işareti
2B	İki boyutlu
3B	Üç boyutlu
3D	Three-dimensional, Üç boyutlu

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

Kömürün endüstri devrimine olanak sağlamasına benzer şekilde, elektrik modern yaşamın görünmez yakıtı olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektromanyetik alanların oluşumu elektrik kullanımının doğal sonucudur (Habash 2008).

Endüstrileşmenin yarattığı hava, su, gürültü kirliliği gibi, elektrik elektronik teknolojisindeki gelişmelerle kullanımın yaygınlaşmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan 'elektromanyetik kirlilik' de yaşam kalitesini tehdit eden önemli etkenlerden biri haline gelmiştir (Sevgi 2000a). Yaşadığımız kentlerde, oturduğumuz mahalleden çalıştığımız işyerlerine, çocuklarımızın okulundan park ve bahçelere kadar her yerde maruz kaldığımız elektromanyetik kirliliğin uluslararası limitlere uygun olup olmadığı, gelişen iletişim teknolojileri nedeniyle maruz kalınabilecek elektromanyetik alanların artışı merak ettiğimiz ve yanıt aradığımız önemli bir çevre sorunudur. Nitekim ülkemizde bazı kentler için elektromanyetik kirlilik düzeyinin araştırıldığı çalışmalar yapılmış ve yurt dışındaki bazı kentlerde de belirlenen noktalar için ölçüm değerlerinin internet üzerinden izlenebilmesi sağlanmıştır (Perez-Vega et al. 2005, Genç vd. 2007, Ammoscato et al. 2008, Uygunol vd. 2010, URL-1 2010, Ek Açıklamalar A).

Elektromanyetik kirlilik, elektrik elektronik cihaz ve/veya sistemlerin, amaçlanan doğrultuda çalışması esnasında, cihaz ve/veya sistemlerde ve canlı dokuda istenmeyen (bozucu) etkilere neden olduğu veya olabileceği ortamı tanımlamaktadır.

Cep telefonlarının radyo yayınlarını bozması veya araçların ABS fren sistemini kilitlemesi, saç kurutma makinesinin televizyon yayınında karlanmaya neden olması, vb. gibi istenmeyen etkiler elektromanyetik (EM) girişim (EMI, Electromagnetic Interference) olaylarıdır. Elektrik elektronik cihazların birbirleriyle etkileşiminin neden olduğu elektromanyetik girişim (EMI), elektromanyetik uyumluluk (EMC, Electromagnetic Compatibility) sorunu, cihaz –

canlı doku arasındaki etkileşim ise Biyo-elektromanyetik (BEM, Bio-electromagnetic) sorunu olarak adlandırılmaktadır (Sevgi 2000a,b).

İletişim teknolojisindeki gelişim; özellikle cep telefonu modellerinin hızla gelişen özellikleri ile GSM şirketlerinin sesli haberleşme dışında, yazılı ve görüntülü mesajlaşma, görüntülü konuşma, internet erişimi, canlı yayın vb. gibi uygulamalar her yıl çok sayıda yeni baz istasyonunun (BTS) planlanmasını ve kurulmasını gerektirmektedir. Yine Dijital, HD, Interaktif, 3D yayın vb. gelişmeler de radyo-televizyon vericilerinin sayılarının artmasına neden olmaktadır. Tüm bu gelişmelerin konforundan yararlanma isteğimiz, elektromanyetik alanların (EMF-Electromagnetic Fields) daha fazla etkisinde kalmamıza yol açmaktadır. (URL-3 2010) Baz istasyonlarının yakın çevresinde yaşayan insanların, baz istasyonlarının fiziksel ya da psikolojik olarak sağlıklarını olumsuz etkilediğine ilişkin şikayetleri ve bu konuda mahkemelerce verilen kararlar ülkemizde güncel tartışmalardandır.

Yapılan araştırmalar, düşük seviyeli Radyo Frekansı (RF-Radio Frequency) alanlarının hücreler, hayvanlar veya insanlar üzerinde çeşitli küçük biyolojik etkiler oluşturabildiğini kabul etmektedir. Ancak maruz kalınan düşük seviyeli RF EM dalgaların olumsuz sağlık etkisine neden olma olasılığı henüz ispatlanamamıştır. Bununla beraber belirsizlikleri daha iyi incelemek için, yüksek kaliteli ilave araştırmalar yapılması önerilmektedir (Yürekli 2007).

Mobil telefonlardan ve baz istasyonlardan yayılan EM dalgaların kansere neden olduğuna ilişkin ileri sürülen iddialara karşın, bugüne kadar yapılan incelemelerde cep telefonu kullanımının kansere yol açtığını gösterecek kesin deliller bulunamamıştır. Ancak günlük yaşamda maruz kalınan RF seviyelerinin uykusuzluk, yorgunluk, halsizlik, dikkat bozukluğu gibi kısa süreli değişimlere neden olduğu rapor edilmiş olmakla birlikte, bu değişimlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri bilinmemektedir (URL-2 2001).

RF EM dalgaların insan sağlığına olası etkilerine önlem olarak Uluslararası İyonlaştırılmayan Radyasyondan Korunma Komitesi – ICNIRP tarafından yayınlanan 1998 tarihli kılavuz, çok sayıda ülke tarafından kabul edilmiştir. Bazı ülkelerde ise ICNIRP kılavuzunda yer alan EM alan şiddeti limitlerinin çok altında değerler benimsenmiştir (Uçar 2009). Ülkemizde ise tek anten için ICNIRP kılavuzunda belirtilen EM alan şiddeti limitlerinin dörtte biri uygulanmaktadır (BTK 2009).

EM alan şiddetinin ölçümü, statik ve dinamik olmak üzere 2 yöntemle gerçekleştirilmektedir. Statik yöntemde, öncelikle ölçüm noktalarının belirlenmesi ile bu noktalarda 6 dakikalık periyotlarla ölçümler yapılmakta ve ölçüm yapılan noktalar için değerler elde edilmektedir. EM alan oluşturan sabit elektronik haberleşme cihazlarının (baz istasyonlar, radyo-televizyon vericilerinin) kurulumuna ilişkin EM alan ölçüm değerleri, ülkemizde uygulanan ilgili yönetmelikte belirtilen esaslarda statik yöntemle gerçekleştirilmektedir (BTK 2009). Dinamik yöntemde ise, EM alan ölçüm cihazı, GPS ve PC ile hareket halinde ölçüm yapılmaktadır. Bu yöntemde EM alan ölçme cihazından alınan ölçüm değeri ile GPS'den alınan konum (koordinat) bilgisi PC üzerinde eşleştirilerek EM alan saha ölçümü gerçekleştirilmektedir (Taborda at al. 2010).

Bu araştırmada dinamik ölçüm yöntemi kullanılarak, Zonguldak kent merkezinin 100 kHz – 3 GHz RF bölgesinde EM kirliliği araştırılmıştır. Ölçüm verileri 08-14 Mart 2010 tarihlerinde toplam 250 km yol güzergahı boyunca ölçülen değerlerdir. Zonguldak'ta daha önce BTK (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu) tarafından 18-19 Nisan 2009 tarihlerinde EM alan saha ölçümü yapıldığı söz konusu Kurum ile yapılan yazışma sonucu tespit edilmiştir (EK Açıklamalar B).

Ölçüm sahası Zonguldak Belediyesi sınırlarında yer alan ve kent merkezine yakın mahalleler ile ana yollardır. EM alan ölçümlerine ilişkin sonuçlar 2B ve 3B haritalar üzerinde derecelendirilerek belirlenen aralıklarda renklendirilmiştir. Böylece Zonguldak kent merkezi için 100 kHz – 3 GHz RF bölgesinde EM kirlilik düzeyinin tespiti, ölçüm sonuçlarının ülkemizde uygulanan sınır değerlerini aşp aşmadığının kontrolü ile uluslararası sınır değerlere göre Zonguldak kent merkezinin durumu incelenmiş, öneriler belirtilmiştir.

Tezin bu bölümden sonra gelen ikinci bölümünde RF bandının EM spektrumdaki yeri ve EM dalgaların anlaşılmasını kolaylaştırmak üzere, temel elektromanyetik kavramlar incelenmiştir. Üçüncü bölümde EM radyasyonun insan sağlığına etkileri, konuyla ilgili araştırma ve bildiriler ile irdelenmiş, EM radyasyona maruz kalınmasını sınırlayan uluslararası ve ulusal referans limitlere yer verilerek çeşitli ülkelerdeki uygulamalar anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ölçümlerin gerçekleştirildiği Zonguldak kenti hakkında genel bir bilgi verildikten sonra ölçüm yöntemleri ve uygulanan ölçüm sistemi tanıtılmıştır. Zonguldak kent merkezi için yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri, 2B ve 3B haritalar

üzerinde büyüklük aralıklarına göre renklendirilerek sunulmuştur. Son bölüm, sonuçlar ve önerilerden oluşmuştur.

BÖLÜM 2

TEMEL ELEKTROMANYETİK KAVRAMLAR

Bu bölümde tez konusu RF bandının EM spektrumdaki yeri ve EM dalgaların anlaşılmasını kolaylaştırmak üzere Habash (2008) ve Sevgi'ye (2000a) göre temel elektromanyetik kavramlar anlatılmıştır.

EM alan, tüm uzaya yayılan fiziksel bir etkidir. EM alanlar hem dalga hem de parçacık özelliklerine sahiptir. Her gün evlerimizde ve işyerlerinde kullandığımız aletlerden uydu sistemlerine ve mobil telefonlara kadar yirminci yüzyılın sonlarında gerçekleşen birçok buluşu hayatımızı kolaylaştıran avantajlarla kullanmaktayız ve onlar olmadan çoğumuz yaşamayı hayal bile etmemekteyiz. Çizelge 2.1'de EM kaynaklardan birkaç örnek gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 EM kaynak örnekleri (Habash 2008).

EM Kaynak	Statik Alan	ELF Aşırı Düşük Frekans	RFR Radyofrekans Radyasyon
Enerji İletim Hatları, Trafolar, Ev Aletleri		x	
İndüksiyon ısıtma		x	x
Ark kaynakları		x	x
RF kaynakları ve Mikrodalga fırınlar			x
Radyo Televizyon İstasyonları			x
Baz İstasyon ve Mobil Telefonlar			x
RFID (Radyo Frekansı İle Tanımlama) / EAS(Elektronik Ürün Gözetim) Sistemleri	x	x	x
Diyatermi ve Hipertermi Cihazı			x
MR Görüntüleme Cihazı	x	x	x

Bütün frekanslardaki EM alanlar, her geçen gün artan bir endişe ve spekülasyon ile en çok sözü edilen çevre konularındandır. Günümüzde herkes değişik oranlarda EM alanlara maruz kalmakta ve teknolojik gelişmeyle beraber bu oranlar artmaya devam etmektedir. Yenilik ve buluşları modern hayattan ayrı düşünemeyeceğimizden, sadece bunların güvenli olup olmadığı hususunda bilgi sahibi olmak istemekteyiz.

2.1 ALANLAR

Alan, içinde kuvvet olan ve ölçülebilen elektrik kaynağı etrafındaki bölgeyi tanımlar. Alanlar statik veya zamana bağımlı olabilirler. Örneğin oda sıcaklığı, zamanın fonksiyonu olarak ısınıp soğuduğundan zaman bağımlıdır. Alanlar belirli koşullar altında kaynaktan yayılan dalgalar üretirler.

Sadece büyüklük ve cebirsel işareti olan kütle, zaman ve iş gibi bir alan sayısı “skaler”, büyüklüğü ile birlikte yönü de olan kuvvet, hız, ivme gibi bir alan sayısı ise “vektör” olarak anılmaktadır. Skaler ve vektörü birbirinden ayırmak amacıyla vektörler için kalın karakterler kullanılmıştır. Örneğin **A** vektör sayısını belirtirken, **A** skaler sayıyı belirtir.

Temel EM büyüklüklere ilişkin cins, büyüklük, simge ve birimler Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Temel elektromanyetik alan büyüklükleri.

EM Büyüklük Cinsi	Büyüklük	Simge	Birim
Elektrik Alan	Elektrik Alan Şiddeti	E	V/m
	Elektrik Akı Yoğunluğu (Elektrik yer değiştirmesi)	D	C/m ²
Manyetik Alan	Manyetik Akı Yoğunluğu	B	T
	Manyetik Alan Şiddeti	H	A/m

2.1.1 Elektrik Alanı

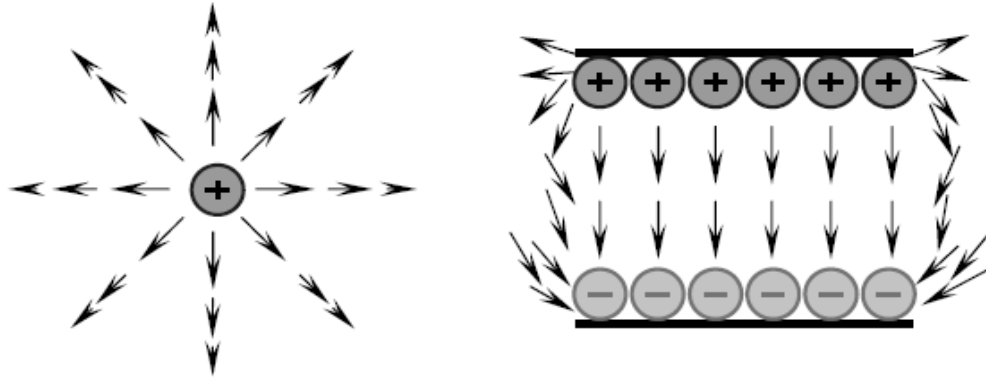
EM alanlara elektrik alan ve manyetik alan kombinasyonu olarak bakılabilmektedir. Elektrik yüklerinin bulunduğu her ortamda elektrik alanı (**E**) vardır. Elektrik alanı (**E**), uzayda her

hangi bir noktadaki küçük bir q_0 pozitif test yükü üzerindeki birim yüke etki eden elektriksel kuvvet (\mathbf{F}) olarak tanımlanır;

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \quad (2.1)$$

Bu alan, test yükü civarında dağılmış diğer elektrik yükleri tarafından oluşturulmaktadır. Bu nedenle 2.1 eşitliği test yükünün neden olduğu alanı değil, yük dağılımının neden olduğu alanı verir.

\mathbf{E} alanı temel birimi, Newton/Coulomb'dur ve bu birim Volt/metre'ye eşittir. Elektrik alanlar grafiksel olarak Şekil 2.1'de görüldüğü üzere iki şekilde gösterilmiştir; İlk şekil, tek nokta yükünün neden olduğu \mathbf{E} alanını göstermekte olup burada oklar alanın yönünü göstermektedir. \mathbf{E} alanının büyüklüğü yükün yakınında daha yüksek iken, yükten uzaklaşırken azalmaktadır (Şekil 2-1a). İkinci şekil, paralel-plaka kapasitörünü temsil eden iki üniform plaka tarafından oluşturulan \mathbf{E} alanını göstermektedir. Bir kısım \mathbf{E} alanı, pozitif yüklerden başlayarak negatif yüklerde sonlanmaktadır. \mathbf{E} alanı, iletken plakaların merkezine yakın üniform olup, kenarlarda eğilmektedir.



a) Tek nokta yükte elektrik alan çizgileri b) İki üniform levha yükleri ile oluşan elektrik alan çizgileri

Şekil 2.1 Elektrik alan çizgileri (Habash 2008).

Elektrik akı yoğunluğu ya da elektrik yer değiştirilmesi \mathbf{D} ile gösterilmekte olup, birim alandaki eşdeğer yük cinsinden \mathbf{E} alanının ölçümüdür. \mathbf{D} 'nin birimi Coulomb/metrekaredir

(C/m²). D dielektrik bir ortamda (örneğin biyolojik dokularda) direkt olarak E ile aşağıdaki eşitlikte gösterildiği şekilde doğru orantılıdır;

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad (2.2)$$

Burada ϵ , Farad/metre (F/m) cinsinden ortamın dielektrik geçirgenliğidir. Geçirgenlik terimi, dielektrik ortamın temel bir özelliğine işaret eder. Bu, ortamdaki birim elektrik alan şiddetine düşen elektrik akı yoğunluğu olarak da tanımlanabilir. Temel olarak dielektrik malzeme bir izolasyon malzemesidir.

Genel olarak ortamın geçirgenliğini 3 farklı nicelik tarif eder; ϵ , ϵ_0 ve bağıl geçirgenlik veya dielektrik sabiti olarak bilinen boyutsuz ϵ_r ; ki bu, serbest boşluğa göre bağıl geçirgenlik olarak tanımlanmaktadır. Bu üç nicelik aşağıdaki eşitlikle ilişkilendirilmiştir;

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (2.3)$$

Serbest boşluğun dielektrik sabiti $\epsilon_r = 1$ 'dir. Bu değer birçok uygulamada hava için varsayılmaktadır. Birçok biyolojik gereç için dielektrik sabitinin değeri 1 ile 80 arasında değişmektedir.

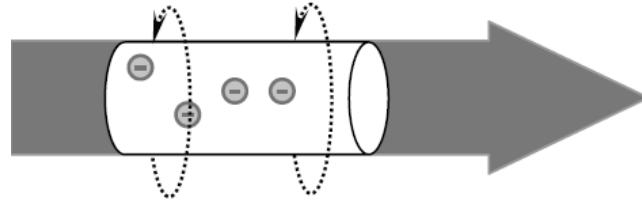
D ve **E** aynı yönde olan vektörlerdir. Bu tüm izotropik (yani, özellikleri yöne bağlı olmayan) ortam gerçek durumdur. **E** ve **D**, EM alanların iki kilit çiftinden birini oluşturur. Diğer çift manyetik alanlardan oluşmaktadır.

2.1.2 Manyetik Alan

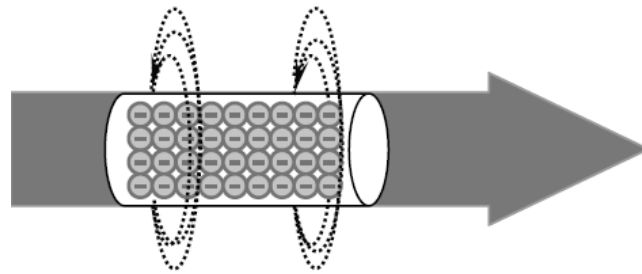
E alanı, yükler arası bir hat üzerinde hareket eden yükler arasındaki kuvvetlerle açıklanmıştır. Yüklerin hareketi ile yükler arası hat boyunca başka bir çeşit kuvvet uygulaması olmaktadır. Bu, **H** ile gösterilen manyetik alan şiddetini belirtmektedir ve vektörel bir niceliktir. Manyetik alan, elektrik akımına dik olarak hareket etmektedir. Bunun anlamı, elektrik akımı düz bir hatta akarken, manyetik alan, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi hattı dairesel bir şekilde çevreler ve hareketli yüklerin hareketini kontrol eder. Manyetik alanın birimi Amper/metre (A/m)'dir.

Eğer DC akım uygulanırsa manyetik alan tıpkı bir mıknatıs gibi sabit olacaktır. Eğer AC akım uygulanırsa, manyetik alan E alanı ile aynı frekansta sapacaktır. Bu bir EM alanı olur, çünkü hem E , hem de H alanlarını içermektedir.

Önemli manyetik alanlar, enerji iletim ve dağıtım hatları, transformatörler, şebeke koruyucuları, fiderler, şalt tesisleri, dağıtım panoları, elektrik panoları, kablolu sistemler, motorlar ve muhtelif elektrikli cihazlar gibi kaynaklardan çıkarlar. Manyetik alanlar, insanlar ve binalar dahil olmak üzere bir çok malzemeye nüfuz ederler. Birçok bilinen malzeme tarafından engellenemez ve kolaylıkla bunların arasından geçerler. Genel olarak manyetik alanlar kaynağa yakın yerlerde kuvvetlidirler ve mesafe ile şiddetleri azalır. İnsanlar manyetik alanları algılayabilme yeteneğine sahip değildir. Ancak yüksek düzeydeki manyetik alanlar, gözde geçici titreşim hissine neden olurlar. Bu durum manyetofosfen (magnetophosphenes) olarak adlandırılır ve manyetik alan kaynağı ortadan kalktığı zaman normale döner.



a) Akımın az olduğu durum,



b) Akım arttığı durum

Şekil 2.2 Manyetik alan çizgilerinin akım taşıyan bir iletkenin çevresinde oluşumu (Habash 2008).

Manyetik alan H , ortamın kesit alanından nüfuz ettiğinde, manyetik akı yoğunluğu B 'ye dönüşür ve aşağıdaki eşitlikle ilişkilendirilir;

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H} \quad (2.4)$$

Burada μ , ortamın manyetik geçirgenliğidir. Geçirgenlik, her hangi bir malzemenin manyetik özelliğine işaret etmekte olup, mıknatıslanma akımı tarafından oluşturulan akı yoğunluğunun ölçüsüdür. Manyetik geçirgenlik birimi Henry/metre (H/m)'dir. Manyetik geçirgenliği 3 farklı nicelik belirler; μ , μ_0 ve boyutsuz μ_r ; ki bu, serbest boşluğa göre bağıl geçirgenlik olarak tanımlanmaktadır. Bu üç nicelik aşağıdaki eşitlikle ilişkilendirilmiştir;

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (2.5)$$

Uzay boşluğunun bağıl geçirgenliği $\mu_r = 1$ 'dir. μ_r değeri bazında malzeme genel olarak diyamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik olarak sınıflandırılmaktadır. Bilinen malzemelerin büyük çoğunluğunun μ_r değerleri, uzay boşluğu veya havanınkine eşittir. Paramanyetik ve diyamanyetik maddeler için $\mu_r \approx 1$ 'dir. Demir, nikel ve kobalt gibi malzemeler istisnadır ve daha yüksek μ_r değerlerine sahiptirler.

Manyetik akı yoğunluğu \mathbf{B} 'nin yaygın birimi Weber/metre-kare'dir (Wb/m^2). Weber, Volt.saniye'ye eşittir. Weber, Nikola Tesla'ya ithafen Tesla (T), ya da Karl Friedrich Gauss'a ithafen Gauss (G) ile ölçülür. Amerika Birleşik Devletleri'nde manyetik alan genel olarak CGS birimleri olan Oersted (Oe) ve Gauss (G) ile ölçülür. Dünyanın geri kalan ülkelerinin çoğunda Tesla (T) ile ölçülür. Aşırı düşük frekansların (ELF) çevreye yayılımı tesla veya gaussun sadece kesri niteliğinde olduğundan, genellikle mikrottesla (μT) veya miligauss (mG) ile ölçülür. Birimlerle ilgili aşağıdaki dönüşümler yardımcı olabilir:

$$1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$$

$$1 \text{ A/m} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Oe}$$

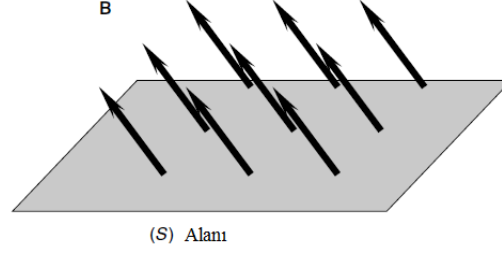
$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$$

$$0.1 \mu\text{T} = 1 \text{ mG}$$

$$1 \mu\text{T} = 10 \text{ mG} = 0.8 \text{ A/m}$$

S yüzeyindeki manyetik akı Φ (Weber), S alanından geçen manyetik akı yoğunluğu toplamıdır. Şekil 2.3 \mathbf{B} 'nin S alanına dik ve alan boyunca sabit olduğunu göstermektedir. Eğer bu yüzey boyunca değişirse aşağıda gösterildiği şekilde integral almak gerekmektedir.

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} \quad (2.6)$$



Şekil 2.3 (S) alanından çıkan manyetik akı yoğunluğu (Habash 2008).

2.1.3 Elektromanyetik Alan

Frekans arttığında, elektrik ve manyetik alanlar birbirinden ayırt edilemezler. Eğer alanlardan biri mevcutsa diğeri de vardır. Bunlar her durumda birbirlerine bağlanırlar ve bu durum Maxwell denklemleri ile açıklanır. Maxwell denklemleri EM dalga yayılımını açıklamaktadır. Buna ek olarak Maxwell çeşitli elektrostatik ve manyetik alan kanunları yazmıştır. Bunları korelasyona tabi tuttuğunda Amper Yasası sonuçlarının zamanla değişen alanlarla uyumsuz olduğunu bulmuştur. Maxwell bu problemin üstesinden gelmek için, deplasman akımı olarak adlandırdığı zamanın türevi ile orantılı, **D** ile gösterilen bir nicelik ortaya koymuştur.

Maxwell denklemlerinin orijinal seti Kartezyen koordinatları ile birlikte potansiyeller cinsinden yazılmış olup, bu nedenle anlaşılmaları zordur. Lorentz, vektör notasyonunu eklerken Heaviside ve Hertz, Maxwell denklemlerini alan büyüklükleri cinsinden yazmıştır. Bu da Maxwell'in birinci derece denklemlerini vektörel ve skaler olarak ortaya çıkarmıştır:

$$\nabla \times \mathbf{E} = \mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad \text{Faraday Yasası} \quad (2.7)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad \text{Amper Yasası} \quad (2.8)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad \text{Gauss Yasası} \quad (2.9)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \text{Manyetizma için Gauss Yasası} \quad (2.10)$$

∇ , Nabla operatörüdür. σ (S/m), Siemens/metre olarak ortamın iletkenliğidir. ρ (C/m³), Coulombs/metreküp olarak hacimsel yük yoğunluğudur.

∇ , \times ile birleştiğinde $\nabla \times$ devam eden vektörün rotasyoneli, $\nabla \cdot$ ile birleştiğinde $\nabla \cdot$ devam eden vektörün diverjansı olarak anılır. Maxwell denklemleri çeşitli şekillerde ele alınabilirler. Bu denklemler, kısmi diferansiyel denklemler şeklinde olabildiği gibi integral biçiminde de verilebilirler. Maxwell denklemleri fiziksel olarak, elektrik ve manyetik alan arasındaki ilişkileri özetleyen denklemlerden oluşur. Tarihsel olarak fizik alanında en önemli başarılarından birini temsil eder.

2.7 denklemi, Faraday Yasasının mikroskobik formudur. Anlamı, elektrik alanın rotasyonelinin, zamanla değişen manyetik alan ile doğru orantılı olduğunu söyler. **E** alanının büyüklük ve yönü rotasyonel işleminden çıkarılmaktadır.

2.8 denklemi, Amper Yasasının vektörel formu ile temsil edilmiştir. **H** manyetik alanının, bir iletkenen geçen akım veya zamanla değişen bir **E** alanı tarafından oluşturulabileceğini ifade eder.

2.9 denklemi Gauss Yasasının elektrik alan için mikroskobik formudur. Bir **E** alanının elektrik yükü ile başlayabileceği veya sonlanabileceğini göstermektedir.

2.10 denklemi Gauss Yasasının manyetik alan için mikroskobik formudur. Manyetik alanlar, alan çizgilerinin başlayabileceği veya sonlanabileceği nokta kaynaklara sahip değildir.

2.1.4 Elektromanyetik Dalga

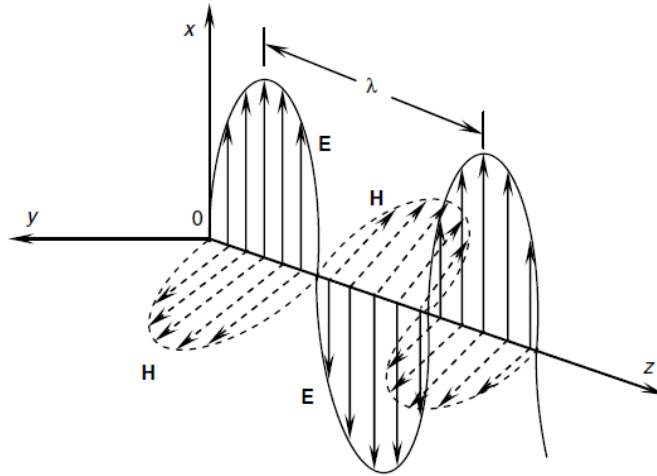
Maxwell denklemlerinin en önemli sonucu, salınım yapan elektrik yükleri tarafından oluşturulabilen EM dalgaların varlığının tahmin edilmesidir. Maxwell, yüklü bir hacimden kaynaklanan EM bozunumun dalga hareketine neden olduğunu kanıtlamıştır. Buna göre Maxwell denklemleri dalga denklemleri oluşturmak üzere kombine edilebilmektedir. Maxwell denklemleri birinci dereceden denklemlerdir. Bu denklemlerdeki alanlardan birinin elimine edilmesi ile denklemler diğer alan için ikinci dereceye dönüşmektedir. Bu da dalga denklemi ya da Helmholtz denklemi olarak anılmaktadır.

Maxwell denklemlerine dayanarak, hem teorik hem de deneysel olarak, **E** elektrik ve **H** manyetik alanları arasındaki ilişkiler verilir. EM dalgaların yayılması 1888'de Hertz tarafından bulunmuştur. Zamanla değişen alanlar için **E** ve **H** birbirleriyle bağlantılıdır, ancak sabit alanlarda bağımsız olurlar. Pratik olarak 20-30 kHz ve üzerinde E ve H ayrı olarak görünmezler, EM dalgaları oluşturmak üzere birleşirler. Bu tip dalgalar bir iletkenle sınırlı değildir; biyolojik malzemelerde ve uzayda serbestçe yayılabilirler.

Maxwell denklemlerinin analizi, EM dalgaların varlığını tahmin etmekle kalmaz, aynı zamanda dalgaların yayılma hızını da tahmin eder. Dalgaların yayılma hızı, Coulomb Yasasında bulunan ϵ_0 sabitinin değeri ve aynı zamanda Amper Yasasında bulunan μ_0 sabitinin değerine bağlıdır. EM dalganın boşluktaki hızı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (2.11)$$

Düşük frekanslardaki EM dalgalar EM alanlar olarak, çok yüksek frekanslarda ise EM radyasyon (ışınım) olarak anılırlar. Elektromanyetik alan (EMF), birbirine dik elektrik alan (**E**) ve manyetik alan (**H**) bileşenlerinden oluşan ve ışık hızı ile hareket eden EM dalgardan oluşur. EM alan bileşenleri aynı zamanda Şekil 2.4'de gösterildiği üzere EM dalganın yönüne dik olarak yayılırlar. Bu dalgaların ilerleme hızları hava veya vakum içerisinde saniyede 300.000.000 metreye yakındır. **E** ve **H** bileşenlerinin etkinliği periyodik olarak değişir.



Şekil 2.4 Elektromanyetik dalganın z-ekseni boyunca yayılması (Habash 2008).

Dalga yayılımının (propagasyonun) net bir matematiksel tanımı vardır: Tüm alan bileşenleri ile akım ve yük yoğunlukları gibi fiziksel büyüklüklerin, silindirik koordinat sisteminde e^{-jkz} faktörü ile ifade edilen z bağımlılığı veya küresel koordinat sisteminde e^{-jkr} olarak ifade edilen r bağımlılığı vardır. Bu tip bir alanlar topluluğu EM dalga adını alır.

Yayılm ortamı kayıpsız (yani, mükemmel dielektrik) olursa, bu durumda Maxwell denklemlerinin matematiksel çözümü, E_x ve H_y arasında doğrusal bir ilişki verir:

$$\frac{E_x}{H_y} = \eta \quad (2.12)$$

Kayıpsız dielektrik ortamın öz empedansı, aşağıda gösterildiği şekilde verilir ve reel bir sayıdır:

$$\eta = \frac{\mu}{\epsilon} \quad (2.13)$$

E_x Volt/metre, H_y Amper/metre olduğundan ‘metre’ler gider ve böylece η öz empedansı Volt/Amper = Ohm olur. Uzay boşluğunda düzlem dalga yayılımı ele alındığında, $\mu = \mu_0$ ve $\epsilon = \epsilon_0$ olur ve öz empedansı η_0 olarak belirtilir.

E ve **H** konumun fonksiyonu olarak zamanla değişir. Bunun anlamı, artıdan eksiye, bir yöndeki sınır değerden zıt yöndeki sınır değere doğru değiştiğidir. Bu değişim frekans (f) olarak adlandırılır ve birimi Hz veya devir/saniyedir. Bu alan aynı zamanda dalga boyu ile de karakterize edilebilmektedir. Dalga boyu, işaretin bir çevriminin metre cinsinden uzunluğu olarak tanımlanır ve λ ile gösterilir. c ışık hızı olmak üzere, havadaki dalga boyu aşağıdaki şekilde verilir;

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.14)$$

EM radyasyonu tanımlamak için aşağıda gösterildiği üzere çok haneli sayıların kullanımı yaygındır;

Kilohertz (kHz)	: 1.000 devir/saniye
Megahertz (MHz)	: 1.000.000 devir/saniye
Gigahertz (GHz)	: 1.000.000.000 devir/saniye

Örneğin genlik modülasyonlu (AM) 1 MHz frekansındaki dalga 30 metrelik dalga boyuna sahiptir. Mikro dalga fırınlar ise 2,45 GHz frekans ile çalışırken dalga boyları sadece 12 cm.dir.

EM dalgalar aynı zamanda foton adı verilen çok küçük enerji paketlerinden oluşmaktadır. Her bir fotonun enerjisi, dalganın frekansı ile doğru orantılıdır. Frekans ne kadar yüksekse, her bir fotondaki enerji miktarı o denli yüksektir. Bu durum aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$eV = hf \quad (2.15)$$

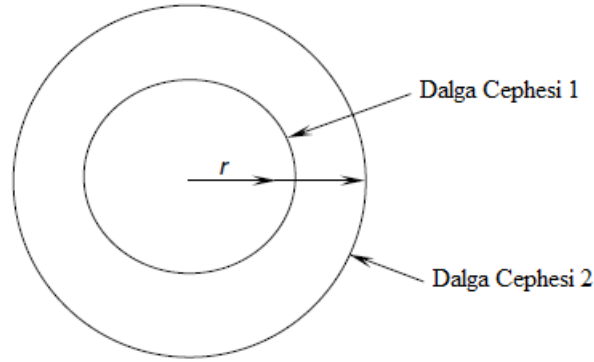
h , Planck sabitidir ($h = 4.135667 \times 10^{-15}$ eV). Elektron volt (eV), bir elektronun V potansiyel değerine sahip olduğu noktadan V+1 değerine sahip olacağı noktaya hareketi ile potansiyel enerjisindeki değişime eşittir. Fotonun sahip olduğu enerji miktarı, bazen dalga gibi bazen de parçacık gibi çalışmasına neden olur. Düşük enerjili fotonlar daha çok dalga şeklinde davranırlarken, yüksek enerjili fotonlar (x-ışınları gibi) parçacık gibi davranırlar. Bu durum ışığın dalga-parçacık dualitesi olarak anılır.

Yakın alan bölgelerinde (kaynaktan 1 dalga boyundan daha kısa mesafede) manyetik alanlar ayrılmıştır. Yüksüz bir iletim hattına enerji verildiğinde bu bir **E** alanı oluştururken, iletim hattından akım çekildiğinde **H** alanı oluşur. Uzak alan bölgesinde (kaynaktan 1 dalga boyundan daha uzun mesafelerde), esas olarak yüksek frekanslarda hem **E** ve hem de **H** alanları havanın empedansı olan 377 Ohm değeri ile değişir.

EM enerjinin yayılımını ifade etmek üzere EM radyasyon terimi kullanılır. EM alanlar bir kez oluştuğunda, nasıl bir noktada birleştiğine bağlı olarak her yöne yayılırlar. Alan başlarken, güç yayılır ve enerji yansiyabilir, iletilebilir veya temas ettiği farklı tipteki malzemeler tarafından soğurulabilir.

Eğer EM dalgalar uzayda bir nokta kaynaktan her yöne eşit olarak yayılırsa, bu küresel bir dalga cephesine neden olur. Dalga cephesi, eşit fazdaki tüm noktaların olduğu düzlem olarak tanımlanmaktadır. Dalga ışık hızında hareket eder ve zaman içinde Şekil 2.5'te gösterilen birinci dalga cephesi alanına ulaşır. Birinci dalga cephesindeki güç yoğunluğu, kaynaktan uzaklık olan r 'nin karesi ile ters orantılıdır. Eğer ikinci dalga cephesinin kaynaktan uzaklığı birinci dalga cephesinin iki katı olursa, birim alanda Watt olarak güç yoğunluğu birinci dalga cephesinin dörtte biri olur. Bu durum kaynaktan uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak güç alındığını ifade eder ve Ters Kare Yasası olarak bilinir ve gücü P_v (Watt) olan bir vericiden r kadar ötede güç yoğunluğu aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$S = \frac{P_v}{4.\pi.r^2} \quad (2.16)$$



Şekil 2.5 Dalga cepheleri (Habash 2008).

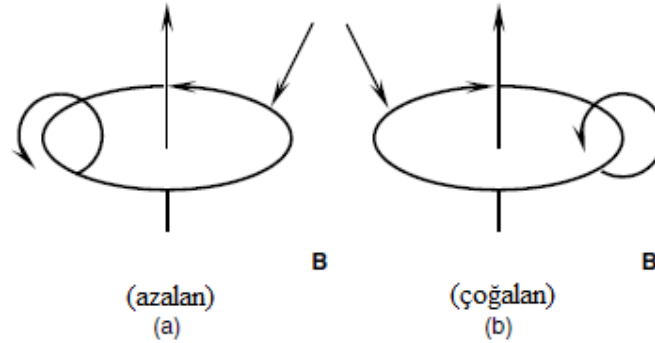
Canlı dokularda EM olaylar, fizik ve mühendislikte olduğundan daha yavaştır. En kısa biyolojik tepki süresi 10^{-4} saniye iken biyolojik reaksiyonların birçoğunun hızı daha düşüktür. Bu nedenle Maxwell denklemleri genel olarak canlı sistemlerdeki biyolojik etkileri değerlendirmede kullanılmamaktadır.

2.2 ELEKTROMANYETİK İNDÜKSİYON

Kapalı bir devrede manyetik akının çevrim boyunca değişimi ile manyetik alanın akım üretebileceği 1881'de Londra'da Michael Faraday tarafından bulunmuştur. Bu olay

elektromanyetik indüksiyon olarak bilinmektedir. İndüklenen akım, manyetik akının kendisi ile değil, değişim miktarı ile doğru orantılıdır.

Şekil 2.6'da gösterilen tel halkayı göz önüne alalım. Manyetik akı yoğunluğu \mathbf{B} 'li manyetik alan, halkanın düzlemine diktir. Eğer \mathbf{B} 'nin yönü yukarı doğru ve değeri azalıyor ise I akımı yukarı yönde oluşacaktır. Eğer \mathbf{B} yukarı doğru ve değeri artıyor ise akım aksi yönde olacaktır. \mathbf{B} azalırken halka içinde indüklenen akım, Şekil 2.6a'daki gibi \mathbf{B} 'yi arttırma yönünde alan oluşturma durumundadır. Ters durumda, yani \mathbf{B} artarken halka içinde indüklenen akım, Şekil 2.6b'deki gibi \mathbf{B} 'yi azaltma yönünde alan oluşturur. Bu nedenle halka içinde indüklenen akım, her zaman \mathbf{B} 'deki değişimin aksi yönde akı oluşturacak yöndedir. Bu olay Lenz Yasası olarak bilinmektedir. Manyetik alan değişimi bir \mathbf{E} alanı oluşturur. Bir döngü yolu boyunca \mathbf{E} alanının integralini aldığımızda, aşağıda gösterilen ve volt olarak ölçülen V_{emk} , elektromotor kuvveti elde edilir:



Şekil 2.6 Manyetik akı yoğunluğu (\mathbf{B}) yoluyla indüklenen akımlar (Habash 2008).

$$V_{emk} = \int \mathbf{E} dl \quad (2.17)$$

V_{emk} , eğer halka açık devre ise iki uç arasında görünür. Bu bir elektrik üreticinin çalışmasının temelini oluşturur.

Kapalı bir devrede oluşan EM kuvvet ile manyetik alan oluşturan V_{emk} arasında sayısal bir ilişki oluşturulabilmektedir:

$$V_{emk} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (2.18)$$

Burada $\Phi = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$, weber cinsinden toplam manyetik akıdır. Böylece 2.18 denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir:

$$V_{emk} = -\frac{d}{dt} \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} \quad (2.19)$$

Burada ds metrekare (m^2) olarak birim yüzey alanını, t ise saniye (s) olarak zamanı göstermektedir. Bu denklem Joseph Henry tarafından elde edilmiş olsa da Faraday'ın İndüksiyon Yasası olarak bilinmektedir. Faraday Yasası, motorlar, jeneratörler, trafolar, indüksiyonlu ısıtıcılar ve benzer cihazlarda yaygın olarak uygulanmaktadır. Ayrıca Faraday Yasası EM teori için de temel oluşturmaktadır.

2.19 denkleminde toplam zaman türevi hem \mathbf{B} 'ye hem de ds 'e uygulanabilir. Bu nedenle V_{emk} elektromotor kuvveti üç koşul altında üretilebilir; birincisi sabit halkalı zamanla değişen manyetik alan, ikincisi zamanla değişen alanlı hareketli bir halka ve üçüncüsü zamanla değişen manyetik alanlı hareketli bir halka olması durumlarında oluşur.

2.3 ELEKTROMANYETİK ENERJİ

Güç, enerjinin tüketilme veya oluşturulma miktarıdır. Akım ve gerilimin çarpımıdır ve Watt (W) ile ölçülür. 1 Watt, 1 Joule/saniye (J/s)'dir. Güç yoğunluğu ise, aynı zamanda güç akısı yoğunluğu olarak anılır ve gücün belirli bir alan üzerindeki dağılımı olarak tanımlanır. Güç yoğunluğu, birim alana düşen güçtür (W/m^2).

Enerji iş yapabilme gücü olup, çeşitli formlardadır. Elektrik enerjisi birimi joule (J)'dür ve mekanik enerji birimi ile aynıdır. Joule, bir Newton'luk bir kuvvetin bir metre mesafedeki etkisiyle depolanan enerji olarak tanımlanmıştır.

EM enerji iletken bir ortam olmadan boşlukta kolaylıkla ilerleyebilir. EM enerji yoğunluğu için farklı eşitlikler kullanılmaktadır. \mathbf{E} ve \mathbf{H} alanlı herhangi bir dalga için Poynting güç yoğunluğu vektörü \mathbf{P} ile verilir:

$$\mathbf{P} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (2.20)$$

$\mathbf{P} = V/m \times A/m = W/m^2$ olup yönü, dalga yönüdür. \mathbf{P} , verilen noktadaki EM alan ile ilintili anlık güç yoğunluğu vektörünü temsil eder. \mathbf{E} ve \mathbf{H} zamanın fonksiyonu olduklarından \mathbf{P} de zamanın fonksiyonudur. 2.20 eşitliği, bir dalgada birim alana düşen enerji akış miktarının dalga cephesine dik olacak şekilde yönlendiğini gösterir. Herhangi bir kapalı yüzeydeki \mathbf{P} 'nin integrali, yüzey dışına giden net güç akışını verir. Bu Poynting teoremi olarak anılır. Alan maruziyeti kaynağın şekline ve ortaya çıkan hacim faktörünün tersine bağlıdır.

2.20 eşitliğinde devre teorisindeki gibi $P = V \times I$ formunu görüyoruz. Aynı bağlamda direnç devresinde güç V^2/R veya I^2R olarak ifade edilebilmektedir. Böylece 2.19 eşitliği dalga empedansı tanımı kullanılarak E_x veya H_y cinsinden güç yoğunluğu iki alternatif ifade ile verilebilmektedir:

$$\mathbf{P}_z = \frac{\mathbf{E}_x^2}{\eta} \quad (2.21)$$

$$\mathbf{P}_z = \mathbf{H}_y^2 \eta \quad (2.22)$$

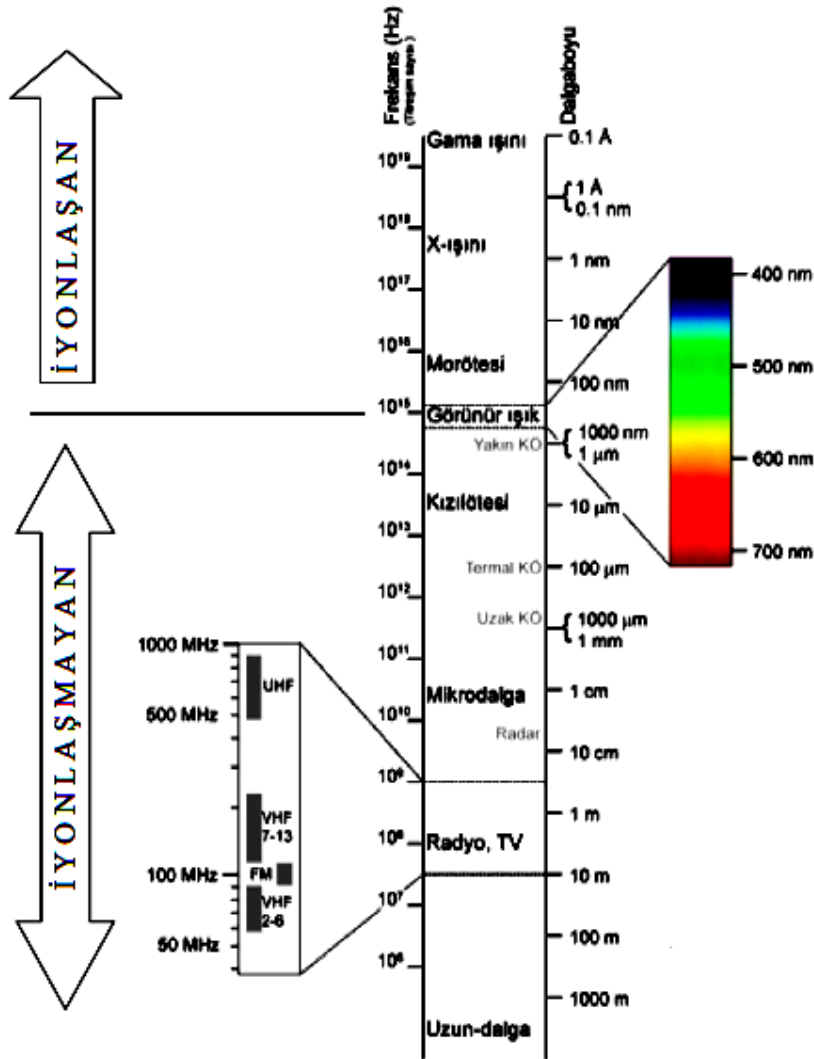
2.4 ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM

Elektromanyetik spektrumun gelişmesi, Maxwell, Hertz ve Marconi'nin buluşları ile başlamıştır. EM spektrum altında çalışacak cihaz ve sistemler, ELF (Extremely Low Frequency; Aşırı Düşük Frekans) ve VLF (Very Low Frequency; Çok Düşük Frekans)'dan başlayıp RFR (Radio Frequency Radiation; Radyofrekans Radyasyon), IR (Infrared Radiation; Kızılötesi Radyasyon), görünür ışık, UV (Ultraviolet; Ultraviyole), x-ışınları ve 10^{24} Hz frekansı aşan gama ışınlarına kadar uzanır. EM spektrum Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Frekansa göre EM radyasyon 'iyonlaşan' ve 'iyonlaşmayan' olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. İyonlaşmayan radyasyon, radyasyona uğramış malzemede atomik bağları parçalayamayacak kadar zayıf foton enerjili EM spektrum kısmını ifade eder. Ancak yine de güçlü bir ısıtma etkisi vardır. 50 Hz'lik frekansla yayılan bir dalga, $h = 4.135667 \times 10^{-15}$ eV

Planck sabiti olduğundan $h f = 2 \times 10^{-13}$ eV değerinde kuantum enerjisi açığa çıkarır. Kimyasal bağın parçalanmasıyla iyonlaşma için tipik olarak 1 eV enerji gerektiğinden, düşük frekanslı alanların iyonlaşmaya neden olmayacağı açıktır.

İyonlaştıran radyasyon o kadar fazla enerji içerir ki (12 eV ve üstü), atomların kabuk yörüngelerindeki elektronları buradan ayırma kapasitesindedir. Bu, canlılarda serbest radikaller yaratarak kromozom hasarı riskinin artışına ve kansere yol açabilir.



Şekil 2.7 Elektromanyetik spektrum (URL-11 2010).

2.4 ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK

EM kirlilik, elektrik elektronik cihaz ve/veya sistemlerin, amaçlanan doğrultuda çalışması esnasında, cihaz ve/veya sistemlerde ve canlı dokuda istenmeyen (bozucu) etkilere neden olan veya olabilecek duruma verilen addır. Elektrik elektronik cihaz ve/veya sistemlerin diğer cihaz ve/veya sistemlerle etkileşimi nedeniyle oluşan bozucu etki EM Girişim, canlı doku ile etkileşimi ise Biyo-Elektromanyetik olarak incelenmiştir.

2.4.1 Elektromanyetik Girişim (EMI)

Radyo-televizyon yayımları, telefon, radar gibi haberleşme sistemleri EM dalgaları kullanır. Genellikle haberleşme işaretleri yüksek frekanslı bir taşıyıcı üzerine bindirilerek gönderilir. Bu işleme modülasyon denir.

EM işaretlerin başka EM işaretlere karışması EM Girişim (EMI, Electromagnetic Interference) olarak tanımlanmaktadır. Haber işaretine faydalı işaret, bozucu etki yaratan işarete ise istenmeyen işaret (gürültü) denir. İstenmeyen işaretler ya da faydalı işaretler, kullanıcının amacı ve ortama göre değişir. Bir telefon işareti haberleşen aboneler için faydalı, diğer aboneler için ise istenmeyen işarettir. Yine benzer şekilde bir radar işareti bir TV işareti için, bir TV işareti de bir radar işareti için istenmeyen işarettir.

EM girişim işaretleri,

- Genliğe göre;
 - düşük güçlü,
 - yüksek güçlü,

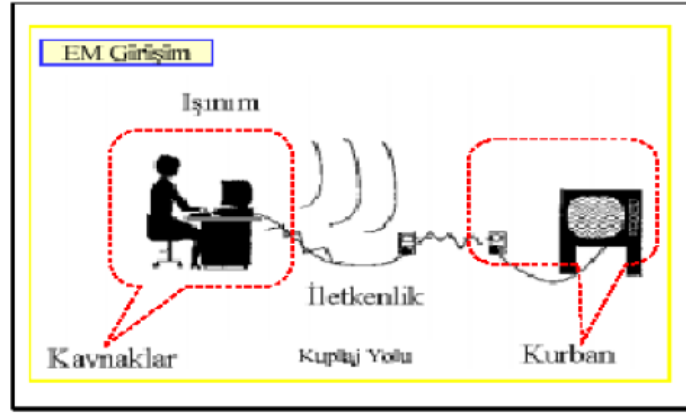
- Frekans bantlarına göre;
 - dar bantlı,
 - sinüzoidal,
 - darbesel,

- Oluşum sürelerine göre;
 - anlık,
 - sürekli,

- İşaret şekillerine göre;
 - analog,
 - sayısal

olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca doğal (güneş patlamaları, yıldırım gibi) ve yapay (enerji nakil hatları, TV vericileri, elektrik makineleri gibi) bozucu işaretler olarak da bu sınıflandırma yapılabilir.

EM girişim probleminde 3 eleman söz konusudur. Şekil 2.8’de bu üç eleman EM girişim kaynağı, EM girişimden etkilenen kurban ve kaynak ile kurban arasındaki iletim ortamı ya da kuplaj olarak verilebilir. Kullanıcının bilgisayarından sızan EM enerji TV’ye zarar verecektir. Bu durumda şekilde gösterildiği gibi TV kurbandır. Böyle bir sistemde iki farklı kuplajlama meydana gelir. Birincisi girişim oluşturan sistem ile kurban arasındaki iletkenlerin oluşturduğu iletim hattıdır. İkincisi ise kaynak ile kurban arasında bağlantı olmadan atmosfer yolu ile oluşan kuplajdır.



Şekil 2.8 EM girişim (EMI) probleminin 3 elemanı (Sevgi 2000a).

EM girişim, üç şekilde ortadan kaldırılabilir;

1. Girişime neden olan kaynak ortadan kaldırılabilir. Örneğin bir bilgisayar sisteminde kötü tasarlanmış bir kart girişime neden olabilir.

2. Girişimden etkilenen cihaz (kurban) sağlamlaştırılabilir. Bozucu işaretlere dayanıklı ve istenen işlevin gerçekleşmesini engellemeyecek şekilde cihazlar geliştirilebilir.

3. Girişim kaynağı ile cihaz (kurban) arasındaki yolda oluşan kuplaj engellenebilir. Yolda oluşan bozucu işaretleri yutan veya engelleyen düzenlemeler yapılabilir.

2.4.1 Biyo-Elektromanyetik (BEM)

EM kirlilik kapsamında canlı dokularla cihazların/sistemlerin etkileşimini incelemek Biyo-Elektromanyetik (BEM) konusudur. EM Girişim (EMC) mühendisliğinin amacı, problemin üç unsurundan en az birini ortadan kaldırmak veya etkilerini en aza indirmek iken BEM mühendisliğinin amacı EM enerjinin canlı dokularda yaratacağı, kısa, orta ve uzun süreli etkileri incelemek ve en aza indirmektir. Bu çalışmada BEM, EM spektrumdaki iyonlaşmayan radyasyon bölgesinde 100 kHz -3 GHz bandı için gerçekleştirilen araştırma ile sınırlıdır.

Zamanla değişen EM alanlara maruz kalma vücutta dokularda enerji yutulmasına ve vücut içi akımların akmasına neden olur. Dokulardaki akım yoğunluğu \mathbf{J} , elektrik alan ve σ doku iletkenliğine bağlı olarak aşağıda verilir.

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (2.23)$$

Frekansa ve dalga şekline göre temel büyüklükler aşağıdaki gibi alınmıştır (ICNIRP 1998);

- 10 MHz frekansa kadar temel büyüklük \mathbf{J} (A/m^2), akım yoğunluğudur.
- 110 MHz frekansa kadar ise \mathbf{I} , akım ele alınır.
- 100 kHz ile 10 GHz arasında Özgül Soğurma Oranı (SAR; Specific energy Absorption Rate) değerinden söz edilebilir.
- 300 MHz ile 10 GHz arasında darbesel işaretler için Özgül Soğurma (SA; Specific energy Absorption) kullanılır.
- 10 GHz ile 300 GHz arasında ise güç yoğunluğundan söz edilebilir.

Zamanla değişen EM alanların canlılarla etkileşimi üç şekilde olmaktadır (ICNIRP 1998);

- Düşük frekanslı elektrik alanlardan kuplaj
- Düşük frekanslı manyetik alanlardan kuplaj
- EM alanlardan güç soğurma

2.4.1.1 Düşük Frekanslı Elektrik Alan Kuplajı

Zamanla değişen elektrik alanlar canlı dokularda elektrik yüklerinin hareketiyle akım akmasına, elektriksel dipol oluşmasına ve var olan dipollerin yön değiştirmesine neden olur.

Bunların şiddetleri, dokuların elektriksel parametrelerine bağlı olarak değişir. İletkenlik (σ) elektrik akımı, dielektrik sabiti (ϵ) ise polarizasyon şiddeti için belirleyicidir. Dielektrik sabiti ve iletkenlik dokudan dokuya değiştiği gibi, frekansla da değişir. Vücudun dışındaki elektrik alanlar, vücut yüzeyinde yük birikmesine ve bu yüzey yüklerindeki farklar, vücudun konumu, şekli ve büyüklüğüne bağlı olarak vücudun içinde akım akmasına yol açar.

2.4.1.2 Düşük Frekanslı Manyetik Alan Kuplajı

Zamanla değişen manyetik alanlar vücutta elektrik alanları indüklenmesine ve elektrik akımı akmasına neden olur. İndüklenen elektrik alanının şiddeti, manyetik alan kaynağı olan halkanın çapına, doku iletkenliğine ve zamanla değişim oranına bağlıdır. Manyetik alan kaynağı olan akım halkasının çapı ne kadar büyük ise indüklenme o denli şiddetli olur.

2.4.1.2 EM Dalga Gücünün Soğurulması

Düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanların neden olduğu dokularda güç soğurulması, genelde ihmal edilebilecek kadar azdır. Bu nedenle vücut sıcaklığında kayda değer bir artış yaratmazlar. 100 kHz'in üzerindeki frekanslarda ise durum değişir ve güç soğurulması kayda değer boyutlara ulaşır.

Düzlem EM dalgalar altında bulunan vücuttaki güç soğurulması dokudan dokuya çok farklılıklar gösterir. Bu anlamda dört farklı frekans bölgesi için etkileşim aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (ICNIRP 1998):

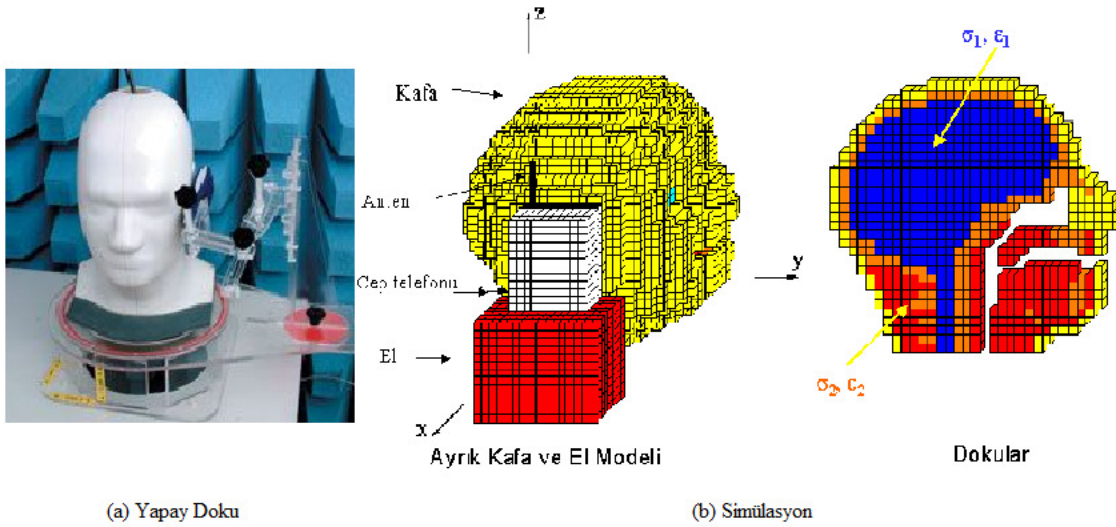
1. 100 kHz ile 20 MHz arasında güç soğurulması daha çok boyun ve ayaklarda görülür.
2. 20 MHz ile 300 MHz arasında hem vücudun tümünde hem de kısmi bölgelerde, rezonans etkisi yaratarak tehlikeli olabilecek güç soğurulması yaratabilir.
3. 300 MHz ile birkaç GHz arasında yerel ve farklı güç soğurulması ile karşılaşılabilir.
4. 10 GHz'in üstünde ise vücudun yüzeye yakın kısımlarında güç soğurulması söz konusudur.

Dokunun iletkenliği, dokularda ısıl yutulmaya neden olan parametredir. Hacmi V , iletkenliği σ (S/m) ve yoğunluğu ρ (kg/m^3) olan bir doku içerisindeki elektrik alan şiddeti E (V/m) ise, yutulan SAR değeri W/kg olarak aşağıdaki eşitlikle verilir (Firengiz vd. 2010, Sevgi 2000a).

$$SAR = \iiint_V \frac{\sigma E^2}{\rho} dV \quad (2.24)$$

Görüldüğü gibi, SAR değerinin bulunması için dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin ölçülmesi gerekir. Canlılarda bu ancak tıbbi deneklerle yapılmaktadır. SAR analizleri bu nedenle, ya Şekil 2.9a'daki gibi insanın elektriksel parametrelerine sahip yapay organlar ile ya da Şekil 2.9b'deki gibi bilgisayar simülasyonları ile yapılabilmektedir.

Gerek yapay organ üzerinde yapılacak laboratuvar çalışmaları, gerekse bilgisayar simülasyonları için dokuların EM özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Her nesnenin iletkenlik (σ) ve dielektrik sabiti (ϵ) olarak verilen değerleri, EM etkiler açısından eşdeğerini gösterir. Bu iki parametre de frekansla değişir.



Şekil 2.9 SAR ölçümü için yapay doku ve simülasyon (URL-9 2010, URL-10 2010).

SAR değerleri, EM radyasyonun insan sağlığına zarar verebileceği temel ve türetilmiş limitlerin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Bir sonraki bölümde daha ayrıntılı incelenmiştir.

BÖLÜM 3

ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

EM dalgaların, spektrumun her bölgesi için farklı etkileşimlere neden olduğu bilinmektedir. Dalga boyu 2500 Angström'den daha düşük moleküllerde radyasyon iyonlaşmaya neden olur. Düşük frekanslardan radyo frekanslarına kadar uzanan 0-300 GHz arası radyasyon bandı iyonlaştırmayan radyasyondur. Bunların dalga boylarının enerjileri molekülleri iyonlaştırmaya yetmez. Radar, radyo ve TV vericileri, baz istasyonları ve diğer çeşitli cihazlar iyonlaştırmayan radyasyon kaynaklarıdır. Uzun süreli iyonlaştırmayan radyasyona maruziyetin canlılarda kalıcı etkiler oluşturabileceği bilinmektedir. Dokularda ısı artışına neden olması, en önemli etkidir (Şeker 2000).

Potansiyel çevresel tehlikelere uzun süreli ve düşük seviyede maruz kalmanın etkileri yıllardır araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Burada etkinin birikimli olabilmesi, zaman içerisinde bünyede birikebilmesi ana sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum riskler üzerindeki araştırmaların uzun vadeli ve zahmetli olmasına neden olmaktadır. Araştırmaların önemli bir kısmı elektrik iletim hatları ve mobil telefonlardan yayılan, sırasıyla ELF ve RF-EM alanların “genotoksitesi” üzerinedir. Genotoksinler, kansere neden olabilen ve DNA'ya zarar verebilen ajanlardır (URL-4 2010).

3.1 ARAŞTIRMA VE RAPORLAR

EM alanlar ve mobil telefonların sağlık üzerindeki etkileri üzerine yapılan bazı araştırmalar ve sonuçları özet olarak aşağıda sunulmuştur:

3.1.1 Reflex

Bu proje, düşük-enerjili EM alanların laboratuvar ortamında (in vitro) biyolojik materyallerle nasıl etkileştiğini araştırmıştır. ELF ve RF elektromanyetik alanlara maruz bırakılan hücrelerin DNA'yı parçalayabildiği ve dolayısıyla hücre gelişimini etkilediği bu araştırma ile

ortaya koyulmuştur. Araştırma sonuçları EM alanların tehlikeli olduklarını kanıtlamasalar da daha fazla araştırma yapılabilmesini için yönlendirici olmuştur. (URL-4 2010).

3.1.2 Guard

Guard projesi, RF-EMF'lere uzun dönemde maruz kalmanın işitme üzerindeki etkilerini hem hayvanlar hem de insanları kullanarak araştırmıştır. Bu proje; önce canlı laboratuvar kobayları, ardından da insanlar üzerinde gerçekleştirilen bir takım deneyler aracılığıyla mobil telefonların işitme yeteneği üzerindeki etkisine ilişkin araştırmalara öncülük etmiştir. Deneyler toplam 490 hayvan ve 550 insan denek üzerinde yapılmıştır. Deneyler sonucu araştırmacılar, insanların ve hayvanların işitsel yeteneklerinde herhangi bir olumsuz etki tespit edilmediğini rapor etmişlerdir. Bununla birlikte henüz araştırmalara konu edilmemiş üçüncü nesil mobil telefon sistemlerinin ürettiği RF-EM alanların işitme üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve gelecekte bu konuda araştırmalar yapılması ihtiyacına dikkat çekilmiştir (URL-4 2010).

3.1.3 Interphone

Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı tarafından yönetilen ve mobil telefon kullanımı ile beyin tümörleri gibi baş ve boyun bölgesindeki kanser oluşumları üzerine kapsamlı epidemiyolojik veri toplayan bir projedir. Araştırmaya AB üyesi dokuz devlet iştirak etmiş ve Avustralya, Kanada, Japonya ve Yeni Zelanda'da paralel araştırmalar yürütülmüştür. Bu araştırma, mobil telefon kullanımı ile beyin tümörleri oluşumu riskine ilişkin en geniş kapsamlı çalışmadır. 10 yıl ve üzeri mobil telefon kullanan denekler incelenmiştir. Genel olarak, mobil telefon kullanımı ile glioma ya da meningioma riskinde bir artış olmadığı rapor edilmiştir (URL-4 2010, The Interphone 2010).

3.1.4 İrlanda Haberleşme, Denizcilik ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Raporu

22 Mart 2007 tarihinde yayınlanan Elektromanyetik Alanların Sağlığa Etkileri (Health Effects of Electromagnetic Fields) konulu İrlanda Haberleşme, Denizcilik ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı raporunda yer alan hususlar aşağıda özetlenmiştir (Yürekli 2007);

3.1.4.1 Radyo Frekans (RF) Alanlar

Raporun RF alanlara ilişkin bölümünde, RF işaretlerinin kansere yol açması konusunda bir tespit olmadığı, ancak araştırmaların devam ettiği; mobil telefonlar ve baz istasyonlardan yayılan RF alanlara maruziyetin olumsuz sağlık etkilerine neden oluşu ve çocukların mobil telefon kullanımının daha fazla sağlık tehlikesi oluşturması ile ilgili bir verinin olmadığı belirtilmektedir.

Anten direklerinin uygun konumlara yerleştirilmediği hallerde, daha yüksek seviyede RF işaretlerin yayılacağına dikkat çekilirken, mobil telefon kullanımıyla ilgili kesinlik kazanmış tek olumsuz sağlık etkisi olarak, araç sürerken mobil telefonların kullanımının neden olduğu kazalara vurgu yapılmaktadır.

3.1.4.2 Aşırı Düşük Frekanslı (ELF) Alanlar

ELF alanların istemsiz sinir ve kas uyarılmasına neden olabileceği, ancak çevremizdeki alanlar çok düşük oldukları için bunun akut etkilere yol açmadıkları, uluslararası kılavuz dokümanlarda yer alan sınır değerlerin altında, olumsuz bir sağlık etkisine rastlanmadığı bu bölümde belirtilmiştir.

ELF manyetik alanlar ile lösemi arasındaki ilişki için bilimsel bulgu olduğu, bunun ELF manyetik alanların kansere neden olduğu anlamına gelmeyeceği, ancak diğer olasılığın da göz ardı edilmeden insanların bu alanlara maruziyetini azaltmak amacıyla ihtiyati tedbirler alınması önerilmiştir.

Eldeki bulguların, mevcut enerji nakil hatlarının güzergahlarının değiştirilmesini gerektirecek düzeyde olmadığı, ancak yeni tesislerin ihtiyati bir önlem olarak insanların yoğun olarak bulunduğu yerlerden uzakta kurulması istenmiştir.

3.1.4.3 Diğer Sonuçlar

Halkın maruz kaldığı seviyelerdeki statik (durgun) manyetik veya elektrik alanlara kısa veya uzun süreli maruziyetin sağlığa zararı olmadığı; çocukların, hasta yetişkinlerin veya yaşlıların EM alanlara karşı daha duyarlı olduğu yolunda bilimsel bulgu bulunmadığı; Elektromanyetik

Alanlara Aşırı Hassas (EHS) olan hastaların uykusuzluk, baş ağrısı, depresyon, deri ve göz vb. şikayetlerinin insanları güçten düşürebileceği ancak araştırmalarda, EM alan maruziyeti ile EHS arasında ilişki kurulamadığı belirtilmiştir.

Aktif ve bilgilendirici bir internet sayfası hazırlanarak, bu sayfada EM alanların sağlık üzerinde etkileri konusunda hükümetin EM alan standartlarına uygunluk için yaptıklarının açıklanması önerilmiştir. ICNIRP kılavuzlarına kesinlikle uyulması istenmiştir.

İrlanda İletişim Düzenleme Komitesi (COMREG; Commission for Communications Regulation) internet sayfasında yayınlanan anten yakınında yapılan ölçümlerin sonuçlarına ilişkin bilgilerin, benzer ölçümlerle karşılaştırmalar da içerecek şekilde, kolay kullanılabilir hale getirilmesi önerilmiştir.

Yeni baz istasyonlarının onaylanması sürecinin şeffaf olmaması nedeniyle yüksek seviyede endişe yaşandığı vurgulanarak, yeni antenlerin yerleştirilmesi ve gelecekte kurulacak yeni baz istasyonları konusunda, ulusal kurallar oluşturulması şiddetle tavsiye edilmiştir.

Mobil telefon üreticilerinin telefonlar için SAR değerini beyan ettiği ve bu verilerin Mobil Üreticiler Forumu'ndan (www.mmfa.org) sağlanabileceği belirtilmiştir.

İrlanda'da EM alanların sağlığa etkileri konusunda bilimsel araştırma yapmak için yeterli fonların sağlanması tavsiye edilmiştir.

Morötesi, görünür ışık, kızıl ötesi ve lazerleri de içine alacak şekilde optik ışıma maruziyetin, ele alınması gereken önemli sağlık etkilerinin olduğu belirtilmiştir. Ultrason yayınımlarının, özellikle tıpta ve sanayide emniyetli kullanımının da aynı çerçevede ele alınması gerektiği vurgulanmıştır.

3.1.5 Dünya Sağlık Örgütü (WHO; World Health Organization) Çalışma Grubu Raporu

Mart 2007'de yayınlanan Dünya Sağlık Örgütü Çalışma Grubunca hazırlanan Baz İstasyonları ve Telsiz Ağlar – Radyofrekans Maruziyet ve Sağlıkla İlgili Sonuçları konulu raporunda yer alan hususların özeti aşağıda sunulmuştur (Yürekli 2007).

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) Uluslararası EMF Projesi kapsamında RF alanların sağlık etkileri konusundaki son bulguları burada ele alınmaktadır.

Yakın zamanlı çalışmalarda; RF maruziyeti nedeniyle hücrelerde DNA üzerinde etki bulunmadığı ve hayvanlarda yapılan deneylerde de kanser riskini artırmadığı, modülasyonlu RF alanlarla tümör oluşumu arasında ilişki kurulamadığı ve bu alanlarla canlıların olası biyofizik etkileşimlerinin genlikleri incelendiğinde göz ardı edilmiş bir tehlike görülmediği, epidemiyolojik çalışmaların hiçbirinin RF maruziyetinin kanser veya başka sağlık etkisi riskini artırdığı konusunda sağlam delil oluşturmadığı belirtilmiştir.

Verici anten işletim personeline kalp-damar fonksiyonlarıyla ilgili bazı değişikliklerin rapor edildiği, ancak bu tür baz istasyonundan yayılan düşük seviyeli alanlardan dolayı maruziyetin zararlı etki oluşturduğuna dair açık bir kanıt olmadığı raporda yer almıştır.

Uykusuzluk, yorgunluk, halsizlik, sindirim sorunları ve konsantrasyon zorlukları gibi rahatsızlıkların yakın zamanlarda rapor edildiği belirtilmiş, bununla beraber kontrollü ve iyi tasarlanmış “double-blind” (hem deneğin hem de araştırmacının neyin uygulandığını bilmediği) çalışmaların, bu semptomların RF maruziyet ile ilintili olmadığını gösterdiği vurgulanmıştır.

Baz istasyonlarının, RF gücün şiddeti açısından, radyo/TV vericileri, amatör telsiz anteni, vb. RF kaynaklarıyla karşılaştırınca düşük seviyeli sayılabileceği, ancak, baz istasyonu antenlerinin (anten bakımı veya işleme alma durumlarında) veya telsiz ağların (WLAN) ve Bluetooth vericilerinin çok yakınında, genel halk için sınır değerlerin aşılma ihtimali olduğuna dikkat çekilmiştir. İnsanların, FM radyo ve TV vericilerinden, baz istasyonlarına göre yaklaşık 5 kat daha fazla enerjiye maruz kaldığı, radyo ve TV verici istasyonlarının 50 seneden fazla zamandır faaliyette olmasına karşın istatistiklerin olumsuz sağlık etkileri göstermediği belirtilmiştir. Mobil telefon teknolojisinde görülen RF seviyelerinin olumsuz etki yapmasının beklenmediği ve bunun çok sayıda raporla da uyumlu olduğu ifade edilmiştir.

Uluslararası İyonlaştırmayan Işımadan Korunma Komitesi'nin (ICNIRP) 1998 tarihli sağlık etkileri kılavuzunun 30'dan fazla ülke tarafından kabul edildiği, ancak bazı ülkeler ve bölgelerde, mevcut bilimsel delillere dayandırmaksızın daha katı kuralların benimsendiği belirtilmiştir. ICNIRP kılavuzunda belirtilen sınır değerlerden daha katı sınırların uygulanmasının, bilinen sağlık etkilerine dayanmayıp bir ihtiyati tedbir olma eğiliminde olduğuna değinilmiştir.

Mevcut durumda, RF enerjisine fazla maruz kalmaktan doğan, doğrulanmış etkilerin sadece doku ısınmasıyla ilgili olduğu, herhangi bir frekanstaki RF enerji yaşayan organizmalar tarafından belli bir derecede soğurulsa da ısınmaya yol açmayan ve uluslararası kabul görmüş sınır değerlerin altındaki maruziyet seviyelerinin olumsuz sağlık etkilerine yol açacağıının eldeki verilerle gösterilemediği belirtilmiştir.

3.1.6 Porto Alegre Bildirgesi

18 Mayıs 2009 tarihinde Brezilya'nın Porto Alegre kentinde Uluslararası Elektromanyetik Güvenlik Komitesi (ICEMS; International Commission for Electromagnetic Safety) öncülüğünde gerçekleştirilen "Uluslararası Non-İyonize Radyasyon, Sağlık ve Çevre" başlıklı toplantı sonucunda çeşitli ülkelerden bilim insanlarıyla birlikte, ülkemizden de Prof. Dr. Nesrin SEYHAN tarafından kaleme alınarak imzalanan bildirme aşağıda özetlenmiştir (URL-5 2010).

Elektrik ve kablosuz iletişim teknolojilerinin (mobil ve telsiz telefonlar, WIFI ve WIMAX ağları, RFID vs...) yanı sıra büyük elektrik şebekesi ve kablosuz geniş bant altyapı değişiklikleriyle; varlığı ve kullanımı daha önce benzeri görülmemiş şekilde artan non-iyonize elektromanyetik alanların (gerek VLF gerekse RF EM alanların) uzun ve kısa dönem etkilerinden korunmak için; varolan riski değerlendirme açısından halkın bilgilendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Bildirgeyi imzalayan kurul elektromanyetik alanlara maruziyetin kanserin yanı sıra diğer kronik hastalık risklerini arttırabileceğini gösteren deliller nedeniyle endişeli olduğunu belirtmektedir. ICNIRP ve IEEE'nin Uluslararası Elektromanyetik Güvenlik Komisyonlarının (ICES) bildirdiği standartların altındaki maruziyet seviyelerinde de bu etkilerin görüldüğü birçok kez kaydedildiği, bu standartların artık güncelliğini yitirdiği, son araştırmaların elektromanyetik alanların çok düşük maruziyet seviyelerinde dahi zararlı sağlık etkilere neden olabildiğini gösterdiği ifade edilmiştir.

Günümüzde cep telefonları, kablosuz bilgisayarlar ve diğer teknolojik alanların kullanımından kaynaklanan non-iyonize radyasyondan çocuklar ve gençler, hamile kadınlar, yaşlılar ve yaşı, engeli ya da 'elektromanyetik hassasiyet' olarak bilinen sağlık durumu nedeniyle hassas olan bireylerin sağlık riskinin derin bir endişe yarattığı vurgulanmıştır.

Bildirgede aşaşıdaki önlemlerin uygulanması önemle tavsiye edilmektedir:

- Cep telefonu yada kablosuz telefonların 16 yaş altındaki çocuklar tarafından (acil aramalar dışında) kullanmaması.
- Konutlar, okullar, gündüz bakım merkezleri, yaşlılar için merkezler, hastaneler veya insanların zamanlarının büyük bölümünü geçirdiği diğer binalar çevresine Wi-Fi, WIMAX veya diğer bina içi ve dışı kablosuz teknolojilerin konumlanmaması veya sinyal iletimi yapılmaması.
- Elektrik ve kablosuz geniş bant telekomünikasyonlar, özellikle, cep telefonu, Wi-Fi ve WIMAX ile ilgili altyapı konumlanma ve kurulum lisansı ancak halka açık oturumlar düzenlendikten ve ihtiyat ilkesinin dikkatle uygulanacağına dair garanti ile onay alındıktan sonra verilebilmesi. Hassas bölgelere kurulumdan savunmasız kişileri korumak için kaçınılması.
- Sadece iktisadi ve teknolojik gereklilikler üzerine kurulan bir anlayışla değil, doğanın biyolojik gerçeklikleri temeline oturan yeni maruziyet standartlarının tanımlanması aracılığıyla topluma fayda sağlamayı amaçlayarak non-iyonize elektromanyetik enerjiyi emniyetli bir şekilde kullanmak için yeni yollar aramaya devam etmek konusunda insanların teşvik edilmesi.

Belirtilen nedenlerle, tüm ülkelerin; servis kalitesini korurken, halkın güvenliğini garanti altına alarak ihtiyatlı bir strateji uygulamayı seçen İsviçre, İtalya, Belçika, Rusya, Çin, Birleşik Devletler gibi ülkelerdeki uygulamalara katılmaları ısrarla istenmiştir.

3.2 TEMEL VE TÜRETİLMİŞ LİMİTLER

Evde/işte kullanılan elektrik-elektronik cihazlardan yayılan çok düşük frekanslı (ELF) elektrik ve manyetik alanların biyolojik etkileri ;

- İnsan ile ilgili yapılan çalışmalar (Epidemiyolojik klinik)
- Hayvan deneyleri (In vivo)
- Hücrelerle ilgili çalışmalar (In vitro)

olmak üzere üç ana grupta araştırılmaktadır. İnsanın bedensel fonksiyonlarının 1-250 μV gerilimli elektriksel sinyallerle sağlandığı ve sinir sistemimizin dev bir elektronik ađ oluşturduğu göz önüne alındığında, dışarıdan oluşacak EM alanların bu hassas sisteme etkisi doğal dengeyi bozabilecektir (Şeker vd. 2000).

Düşük frekans (0-10 kHz) aralığındaki statik ve düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanlara maruz kalan insanların bu alanlarla doğrudan etkileşmesi sonucu olan oluşan etkiler “doğrudan etkiler”; elektrik ve manyetik alan etkisinde kalmış olan metal cisimlere temas sonucu oluşan etkiler “dolaylı etkiler” olarak tanımlanmaktadır. Doğrudan etkilenmede, elektrik veya manyetik alanın şiddetine, frekansına ve vücut yüzey alanının büyüklüğüne bağlı olarak insan vücudunda bir akım oluşmaktadır (URL-3 2010).

İnsan vücudu yüksek frekans alanlarına duyarlıdır. Vücut yayılan enerjiyi yutar ve enerji ısıya dönüşür. Yüksek frekans alan vücudun tümünde veya belli bir bölgesinde ısı oluşur. Isı içeride olduğu için derimiz tarafından algılanmaz. Bu yüzden vücut sıcaklığı kontrol sistemi etkilenir.

EM radyasyonun yukarıda belirtilen etkileri nedeniyle insan sağlığına zarar vermesini engellemek EM radyasyonun belirli bir değerde olmasını öngören standartlar geliştirilmiştir. EM ışınma canlıya ulaştığında, bu canlı tarafından soğurulmaktadır. İnsan vücudu bir anten gibi davrandığından belirli bir dalga boyunda vücut daha fazla enerji yutar. Vücudun boyutu yarım dalga boyu (rezonans frekansı) olduğunda daha fazla enerji yutar. Çocuklar, yetişkinlerden daha yüksek rezonans frekansına sahiptirler. Enerji soğurulması ile ilgili tanımlar şöyledir (URL-3 2010, Dinçer 2000):

Özgül Soğurulma (SA; Specific Absorption), biyolojik dokunun birim kütlesi tarafından soğurulan enerji miktarıdır. Ağırlığı dm olan bir kütle tarafından soğurulan enerji dW ise özgül soğurulma aşağıdaki gibi verilir;

$$SA = \frac{dW}{dm} \quad (3.1)$$

Özgül soğurulma SA'nın birimi Joule/Kg, vücut yoğunluğu ρ 'nun birimi Kg/m^3 olmak üzere birim kütlenin $dm = \rho \cdot dV$ olduğu göz önüne alınırsa, özgül soğurulma SA aşağıdaki şekli alır;

$$SA = \frac{dW}{\rho dV} \quad (3.2)$$

Özgül Soğurulma Hızı (SAR; Specific Absorption Rate), vücut dokularınca soğurulan EM enerjinin soğurulma hızıdır. Birimi W/Kg'dır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$\mathbf{SAR} = \frac{d(\mathbf{SA})}{dt} = \frac{d\left(\frac{dW}{dm}\right)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dw}{\rho dV}\right)}{dt} \quad (3.3)$$

Ayrıca özgül soğurulma SA, SAR'ın zamana göre integrali olarak hesaplanabilir;

$$\mathbf{SA} = \int_0^t (\mathbf{SAR}) dt \quad (3.4)$$

Yüksek frekanslarda (10 MHz üstünde) SAR değeri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır;

$$\mathbf{SAR} = \frac{\sigma |\mathbf{E}|^2}{\rho} = c \frac{dT}{dt} \quad (3.5)$$

Düşük frekanslarda indüklenen akım yoğunluğunu belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılır;

$$\mathbf{SAR} = \frac{|J|^2}{\rho \sigma} \quad (3.6)$$

Dokularda soğurulan ve ısıya dönüşen gücü veren SAR ifadelerinde kullanılan **E**, V/m olarak vücut dokusunda bulunan elektrik alan şiddetini; **σ**, S/m olarak vücut dokusunun iletkenliğini; **ρ**, Kg/m³ olarak vücut dokusunun yoğunluğunu; **c**, J/Kg⁰C olarak vücut dokusunun özgül ısı kapasitesini; **dT/dt**, ⁰C/s olarak vücut dokusu sıcaklığının zamana göre değişimini; **J**, A/m² olarak vücutta radyasyon sonucu oluşan akım yoğunluğunu ifade etmektedir.

İnsan sağlığı açısından zararlı olabilecek EM radyasyon düzeylerini belirlemek üzere, temel limitler ve bunlardan türetilen türetilmiş limitler tanımlanmaktadır. EM radyasyonun insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri başlatan SAR değerinin, ortalama insan vücudu sıcaklığını bir derece artıracak EM enerjinin soğurulması sonucu oluşacağından hareketle 4 W/kg olarak kabul edilmiştir. Bu durumda kilogram başına dokuların soğurabileceği en yüksek güç değeri 4 Watt'dır. EM ışınımın zararlı etkilerini azaltmak için SAR sınırı değerleri, mesleki temel etkilenme için 10 kat güvenlik payı ile 4/10 = 0.4 W/Kg; genel halk sağlığı için 50 kat

güvenlik payı ile $4/50 = 0,08$ W/Kg olarak belirlenmiştir. Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP; International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) tarafından yayınlanan mesleki ve genel halk sağlığı için temel limitler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

İnsan vücudunda soğurulan enerji dağılımı homojen olmadığından, bu değerler tüm gövde için verilen ortalama SAR değerleridir. Ortalama SAR değeri 0.4 W/Kg’dan az olmasına rağmen soğurulan enerji birkaç dokuda yoğunlaşabilir. Bazı koşullarda kol ve bacaklarda yerel SAR 0.4 W/Kg’ı aşabilir. Bu nedenle, yerel SAR sınırı için kol ve bacaklarda 2 W/100g ve vücudun diğer kısımlarında 1 W/100g limit değerleri önerilmiştir. Genel halk sağlığı sınır değerleri 5 kat daha küçük seçilmiştir. Bu sınır değerler, bir veya birden fazla RF radyasyon kaynağı tarafından vücudun bir çalışma günü boyunca herhangi bir 6 dakikalık periyottaki ortalama etkilenme değeridir. Mesleki etkilenme sınırı, sistemin gerçekleştirilmesinde ve bakımında çalışanların radyasyona karşı korunur olmaları nedeniyle genel halk sağlığı sınırından daha yüksek tutulmuştur (ICNIRP 1998, Dinçer 2000, URL-3 2010).

Çizelge 3.1 10 GHz’e kadar frekanslar için zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlar için temel sınırlamalar (ICNIRP 1998).

Maruziyet Karakteristikleri	Frekans	Güç Yoğunluğu (Baş ve Gövde) (mA/m^2) rms	Tüm Vücut (Ortalama SAR) (W/kg)	Lokal SAR (Baş ve Gövde) (W/kg)	Lokal SAR (Kol, bacak) (W/kg)
Mesleki Maruziyet	< 1 Hz	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	20
	10 MHz – 10 GHz	-	0.4	10	20
Halk Maruziyeti	< 1 Hz	8	-	-	-
	1 – 4 Hz	$8/f$	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
	1-100 kHz	$f/500$	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	$f/500$	0.08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	-	0.08	2	4

10 kHz – 300 GHz frekans aralığında belirlenen temel SAR limit değerlerinin bulunması için EM alana maruz kalmış olan dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin ölçülmesi

gerekmektedir. Ancak teorik olarak SAR değerleriyle belirlenen limitlerin pratikte ölçülebilir olmaması nedeniyle, pratik olarak ölçülebilir büyüklükler olan ve frekansa göre ortamda izin verilen en yüksek değerleri belirleyen elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğu gibi, SAR limit değerlerinden *türetilmiş limitlere* geçilmiştir. Çizelge 3.2’de ICNIRP tarafından yayınlanan türetilmiş limitler gösterilmiştir (ICNIRP 1998).

Avrupa Birliği’nin 30.07.1999 tarihli Resmi Gazetesinde yayınlanan 1999/519/EC sayılı direktif ile (EU 1999) genel halk maruziyeti için, AB’nin 24.05.2004 tarihli Resmi Gazetesinde yayınlanan 2004/40/EC sayılı direktif ile de mesleki maruziyet için ICNIRP limitleri esas alınmıştır (EU 2004).

Çizelge 3.2 Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlar için mesleki ve halk maruziyeti referans seviyeleri (ICNIRP 1998).

Maruziyet Karakteristikleri	Frekans	Elektrik Alanı (E) (V/m)	H (Manyetik Alan) (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μ T)	Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (W/m ²)
Mesleki Maruziyet	< 1 Hz	-	1.63×10^5	2×10^5	-
	1 – 8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
	8 Hz – 25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	-
	0.025 – 0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
	0.82 – 65 kHz	610	24.4	30.7	-
	0.065 – 1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	-
	1 – 10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$	-
	10 – 400 MHz	61	0.16	0.2	10
	400 – 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
	2 – 300 GHz	137	0.36	0.45	50
Halk Maruziyeti	< 1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
	1 – 8 HZ	10.000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
	8 Hz – 25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	-
	0.025 – 0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
	0.8 - 3 kHz	$250/f$	5	6.25	-
	3 - 150 kHz	87	5	6.25	-
	0.15 – 1 Mhz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	-
	1 – 10 MHz	$87f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	-
	10 – 400 MHz	28	0,073	0.092	2
	400 – 2.000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
	2 – 300 GHz	61	0.16	0.20	10

Türkiye’de yürürlükteki yönetmelik (BTK 2009) gereği uygulanan limitler, tek anten için 4 kat güvenlik payı ile uygulanmaktadır. Çizelge 3.3’de Türkiye’de uygulanan sınır değerler gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlar için mesleki ve halk maruziyeti referans seviyeleri (BTK 2009).

Frekans Aralığı (MHz)	E-alan şiddeti (V/m)		H-alan şiddeti (A/m)		B-Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)		Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (W/m ²)	
	Tek cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri
0.010-0.15	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15-1	22	87	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
1-10	22/f ^{A/2}	87/f ^{A/2}	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
10-400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400-2000	0.341 f ^{A/2}	1.375 f ^{A/2}	0.0009 f ^{A/2}	0.0037 f ^{A/2}	0.001 f ^{A/2}	0.0046 f ^{A/2}	f/3 200	f/200
2000-60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

BM ihtiyatlılık ilkesi, insan sağlığına yönelik risklerin varlığı ya da boyutu hakkında bilimsel şüphe varsa; karar vericilerin, bilimsel kanıtın ortaya çıkmasına kadar beklemeden, yani çok geç olmadan önlem almalarını gerektirmektedir. Bu ilke gereğince bazı ülkelerde maruziyet limitlerinin daha katı uygulandığı görülmektedir (Uçar 2009).

Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Estonya, İspanya, Finlandiya, Fransa, Macaristan, Letonya, Malta, Portekiz, Romanya, İsveç ve İngiltere temel maruziyet limitlerini uygularken, Belçika, Bulgaristan, İsviçre, Yunanistan, İtalya, Lüksemburg, Polonya, Slovenya ve Türkiye daha katı limitler uygulamaktadır. Almanya, Danimarka, İrlanda, Litvanya, Hollanda ve Slovakya’da ise sınırlamalar daha az katı olarak uygulanmaktadır. İtalya’da 6 V/m limit uygulanmaktadır. Yunanistan’da ise Avrupa limitleri % 20 daha katı uygulanmaktadır (Uçar 2009).

BÖLÜM 4

ÇALIŞMA ALANI VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde çalışma yapılan alanın kısaca tanıtılmasının ardından Avrupa ve Türkiye'deki düzenlemelere göre ölçüm yöntemleri, bu tezde uygulanacak ölçüm için kullanılan sistem ve bu sistemden elde edilen değerler 2B ve 3B olarak haritalandırılarak sunulmuştur.

4.1 ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

Zonguldak, Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Karadeniz'e batı ve kuzeyden 80 kilometrelik kıyısı olan, 3309 kilometrekarelik yüzölçümüyle Türkiye topraklarının binde altısını kaplayan, 2007 Yılı Genel Nüfus Sayımına göre 615 890 kişi nüfusu ile Türkiye nüfusunun yaklaşık binde dokuzuna sahip bir ildir (URL-7 2010, URL-8 2010).

Zonguldak Merkez ilçe, ilin batısında, 215 922 kişi nüfusu ile 637 kilometrekarelik bir alanda, Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü ile Kozlu, Üzülmöz ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri ve Çatalağzı Termik Santrali ile iç içedir. Karadeniz'de yaklaşık 17 kilometrelik kıyısı olan Merkez ilçe, çevresinde yer alan belde ve köylerin de istihdam ve ticaret merkezidir. Bu tezde ölçüm sahası olarak kullanılan Zonguldak Merkez İlçe Belediyesi sınırlarında yer alan Zonguldak İlçe Merkezi nüfusu 107 354 kişidir. Şekil 4.1'de Zonguldak kent merkezinden bir görünüme yer verilmiştir (URL-8 2010).

4.2 ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

RF EM alan ölçümü için çeşitli ulusal ve uluslararası düzenlemeler bulunmaktadır. Uluslararası IEEE C95.3 standardı, ECC/REC/(02)04 kodlu Avrupa Posta ve Haberleşme İdaresi tavsiyeleri ile Türkiye'de ise BTK tarafından yayınlanan yönetmelik ile ölçüm süreçleri tarif edilmektedir (Saustingl vd. 2009, BTK 2009).

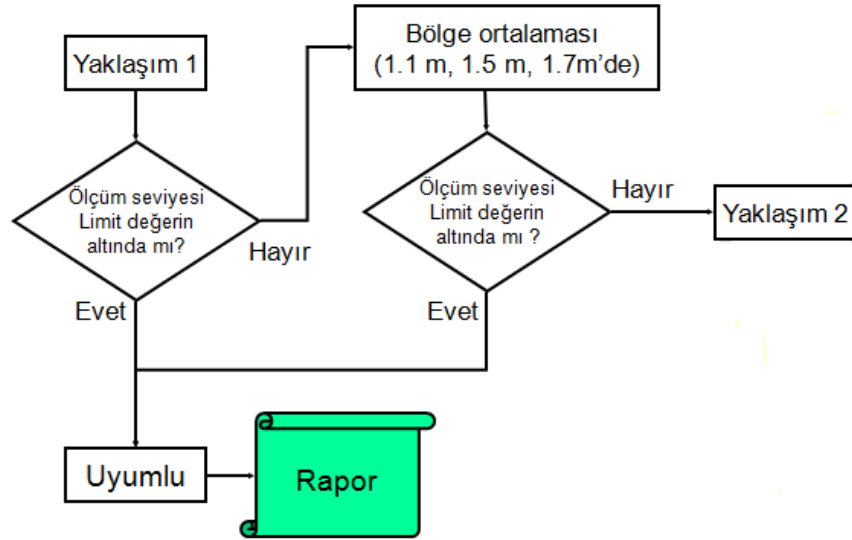


Şekil 4.1 Zonguldak kent merkezinden bir görünüm (URL-8 2010).

ECC/REC/(02)04 tavsiyesinde ölçüm için üç yaklaşım benimsenmiştir;

- Yaklaşım 1: Hızlı Durum Belirlemesi

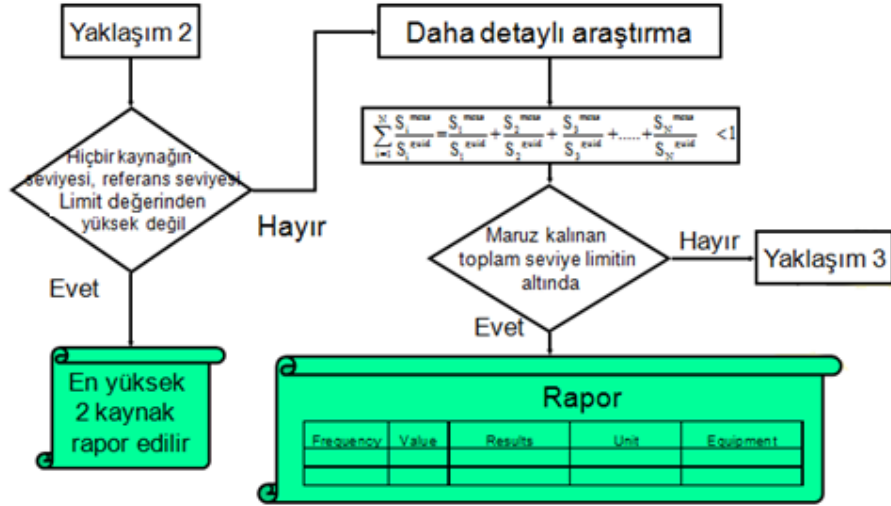
Ölçümler, geniş bantlı ve izotropik antenli ölçüm cihazları ile gerçekleştirilir. Şekil 4.2’de Yaklaşım 1’e göre ölçüm akış şeması gösterilmiştir (URL-6 2003, Saustingl vd. 2009).



Şekil 4.2 Yaklaşım 1 Hızlı Durum Belirlemesi blok şeması.

- Yaklaşım 2: Değişken Frekansla Bant Taraması

Ölçümler seçici (selektif) ölçüm cihazları ile uzak alan uygulamalarında kullanılan yöntemdir. Şekil 4.3’de Yaklaşım 2’ye göre ölçüm akış şeması gösterilmiştir (URL-6 2003, Saustingl vd. 2009).



Şekil 4.3 Yaklaşım 2’ye göre ölçüm akışı blok şeması.

- Yaklaşım 3: Detaylı Araştırma

Yaklaşım 3 ölçümleri için tam seri saha ölçüm cihazları gereklidir. Çalışan için kişisel korunma monitörleri, yakın alan ölçümleri için elektrik alan ve manyetik alan problemleri, radar ölçümleri için termokupl problemler ve selektif ölçüm cihazları kullanılır (URL-6 2003, Saustingl vd. 2009)

Türkiye’de RF EM alan ölçümü için uygulanan yönetmeliğin 15. Maddesinde ölçümün nasıl yapılacağı anlatılmaktadır (BTK 2009);

“MADDE 15 – (1) Yapılacak olan ölçümler; temel olarak elektromanyetik alan şiddeti veya güç akı yoğunluğu ölçümlerinden ibaret olup;

a) Ölçümler geniş bantlı cihaz ile yapıldığında, yakın alanda elektrik alan ve manyetik alan karmaşık bir yapı gösterdiğinden, elektrik alan ve/veya manyetik alan

probları ayrı ayrı kullanılarak ölçüm yapılacaktır. Uzak alanda ise ölçümler sadece elektrik alan probu kullanılarak yapılacaktır.

b) Bir noktada birden fazla verici bulunması halinde, geniş bantta ölçüm yapan bir cihaz ile ortamda bulunan bütün elektrik alan şiddetinin etkin değeri ölçülecektir. Elektromanyetik alan şiddetinin tek bir cihaz için belirlenen limitten fazla çıkması durumunda ortamdaki bütün vericilerin ayrı ayrı elektrik alan şiddetinin tespiti için, spektrum analizör ve yönlü anten kullanılacaktır. Elektrik alan şiddet değerinin düşey ve yatay polarizasyon değerlerinin x, y, z bileşenleri ayrı ayrı ölçülecek, bunların karelerinin toplamının karekökleri alınarak hesaplanan etkin bileşke elektrik alan değeri,

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

formülü ile hesap edilecektir.

(2) Bu ölçümde aşağıdaki hususlar dikkate alınacaktır.

a) Ölçüm Personeli üzerinde bulundurduğu her türlü elektronik cihazı ölçüm sonuçlarını etkilememesi bakımından kapalı tutacaktır.

b) Cihazın ilk çalıştırılmasından sonra teknik dokümanında belirtilen süre kadar cihaz kararlı duruma geçene kadar beklenecektir.

c) Her ölçüme başlamadan evvel ölçüm cihazlarının varsa sıfırlama tuşuna basılacaktır.

ç) Ölçümler, ölçüm yapılacak sistemin çalışır durumda olduğu saatlerde yapılacaktır.

d) Ölçümler verici antenin yayın paterni dikkate alınarak, uzaktan yakına doğru güvenlik mesafesine kadar yaklaşılarak yapılacaktır.

(3) Hücresel baz istasyonları ölçümleri için bu maddede açıklanan ölçüm yöntemlerine ek olarak aşağıdaki hususlara da dikkat edilecektir.

a) Ölçümler antenin yayın yaptığı yönden başlamak üzere yatayda sağa ve sola doğru en az üç değişik noktadan yapılacaktır.

b) Hücresel baz istasyonları için her ölçüm 6 dakikalık ortalama alınarak yapılacaktır.

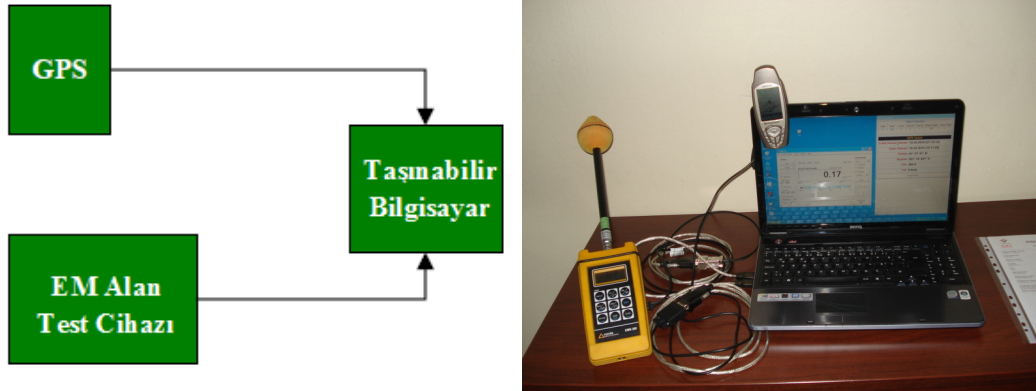
c) Meskun mahalde yapılacak ölçümlerde antenin yayın paterni dikkate alınarak, yayına doğrudan maruz kalan bölgede en az 3 noktadan ölçüm yapılacaktır.”

Yukarıda anlatılan ölçüm yöntemlerinde 6 dakikalık bir süre boyunca ölçüm ekipmanının sabitlenmesi gerekmektedir. Özellikle hızlı durum belirlemesine yönelik olarak yapılacak bir saha taramasının bu yöntemlerle hem maliyetinin yüksek olacağı, hem de ölçüm için taranacak sahanın boyutuna göre uzun zaman alacağı açıktır.

Bu çalışmada, ölçüm ekipmanının sabitlendiği ve *statik ölçüm yöntemi* olarak anılan yöntem yerine, BTK'nın EM saha ölçümünde kullandığı (Semerci 2010) ve *dinamik ölçüm yöntemi* olarak anılan yöntemle 100 kHz - 3 GHz frekans bandı için Zonguldak kent merkezindeki RF EM alan ölçümü gerçekleştirilmiştir. Dinamik ölçme yöntemi, EM radyasyon ölçme cihazı, GPS cihazı, taşınabilir bir PC sistemi ile bunların birbirine bağlanarak araç üzerinde ölçüm yapılması olarak tanımlanabilir. Bu nedenle mobil ölçme yöntemi olarak da adlandırılmaktadır (Ammoscato et al. 2008, Taborda et al. 2010).

4.3 ÖLÇÜM SİSTEMİ VE ÖLÇÜMLER

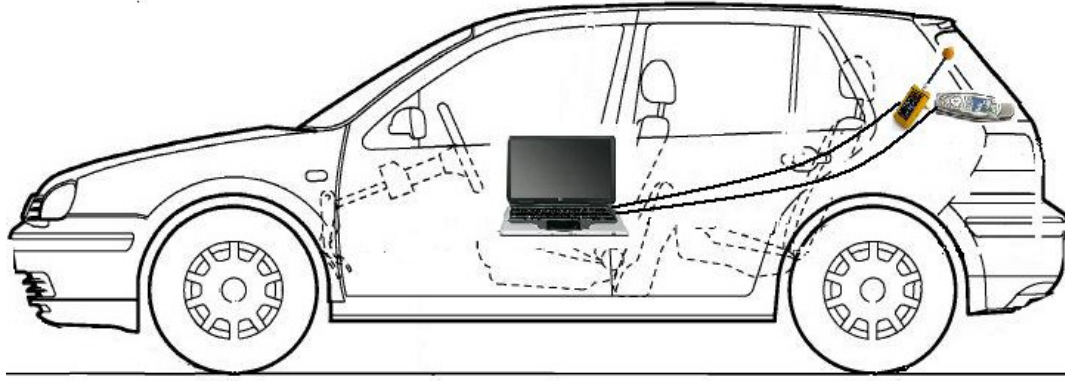
Ölçüm için, Magellan SporTrak Color GPS cihazı (Ek Açıklamalar C), Narda EMR-300 model EM alan ölçme cihazı (Ek Açıklamalar D), ve Windows XP işletim sistemi ile çalışan taşınabilir bilgisayar sistemleri kullanılmıştır. EMR-300 ölçüm cihazı fiber-seri (RS232) ve seri-USB dönüştürücüler, GPS cihazı seri-USB dönüştürücü üzerinden taşınabilir bilgisayara bağlanmıştır. Ölçüm sistemi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Ölçüm sistemi blok şeması ve görünümü.

EM alan ölçüm cihazından alınan zamana bağlı elektrik alan şiddeti (V/m) değerleri ile GPS'den alınan zamana bağlı konumu gösteren koordinat değerleri cihazların yazılımı ile taşınabilir bilgisayara aktarılmıştır. Ölçüm anında V/m olarak elektrik alan şiddeti ve

koordinat verilerinin izlenmesi EMR-TS ve GPS yazılımları ile bilgisayar ekranından izlenebilmektedir. Böylece çeşitli nedenlerle (batarya ya da pil zayıflaması, ölçüm değeri okunamaması, vd. nedenlerle) veri okunamadığında sisteme müdahale edilebilmektedir. Ölçüm için, özel otomobilin ön yolcu koltuğuna taşınabilir bilgisayar, arka cam kısmına EMR-300 test cihazının 100 kHz – 3 GHz probu ve GPS gökyüzünü görecek biçimde Şekil 4.5’de gösterildiği gibi konumlandırılarak bağlantıları yapılmıştır.



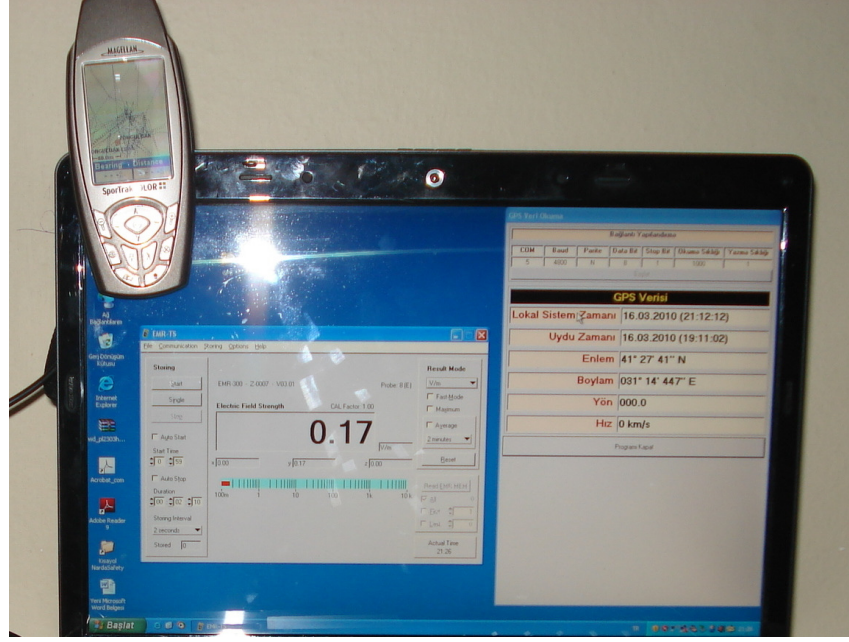
Şekil 4.5 Ölçüm düzeninin araç içinde konumlandırılması.

Test cihazı ve GPS için PC portları tanımlanmıştır. Bilgisayar sistemi açıldıktan sonra, GPS ve test cihazı açılarak ölçüme hazır hale gelinmiştir. GPS cihazı uydular üzerinden konum bilgisini aldığı anda, artık ölçüm turuna başlamak için sadece test cihazı yazılımından kayıt için ‘start’ butonunu Mouse ile tıklamak yeterli olacaktır.

Araçla hareket edildiğinde bilgisayar ekranı Şekil 4.6’da gösterildiği üzere, test cihazı ve GPS cihazlarının ekranlarında yer alan ölçüm sonuçlarını, yazılımların ölçüm ekranına taşıyarak göstermekte ve kaydetmektedir.

Ölçümler için 08-14 Mart 2010 tarihlerinde toplam 19 tur gerçekleştirilmiştir. Ölçüm turları taşınabilir bilgisayara EMR ölçümleri için Excel dosyası olarak, GPS bilgileri text dosyası olarak kaydolmaktadır.

Şekil 4.7’de gösterildiği üzere, E-alan şiddeti ve konum bilgileri text dosyasında birleştirilmiş ve GPS konum bilgilerinin doğru koordinatlarda görünmesini sağlamak üzere dönüştürülmesi ile verinin haritalandırılması aşamasına gelinmiştir.



Şekil 4.6 Test cihazı ve GPS yazılımları ile ölçüm sonuçlarının bilgisayar ekranında görünümü.

Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Elektrik Alan (V/m)	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Koordinatlar
08.03.2010	21:16:19	0.9	08.03.2010	21:16:19	N4127293E03147384
08.03.2010	21:16:21	0.47	08.03.2010	21:16:21	N4127293E03147384
08.03.2010	21:16:23	0.35	08.03.2010	21:16:23	N4127293E03147384
08.03.2010	21:16:25	0.41	08.03.2010	21:16:25	N4127293E03147384
08.03.2010	21:16:27	0.45	08.03.2010	21:16:27	N4127293E03147384
08.03.2010	21:16:29	0.41	08.03.2010	21:16:29	N4127293E03147384
08.03.2010	21:16:31	0.41	08.03.2010	21:16:31	N4127294E03147384
08.03.2010	21:16:33	0.41	08.03.2010	21:16:33	N4127294E03147385
08.03.2010	21:16:35	0.41	08.03.2010	21:16:35	N4127294E03147385
08.03.2010	21:16:37	0.5	08.03.2010	21:16:37	N4127294E03147386
08.03.2010	21:16:39	0.47	08.03.2010	21:16:39	N4127295E03147386
08.03.2010	21:16:41	0.41	08.03.2010	21:16:41	N4127295E03147386
08.03.2010	21:16:43	0.38	08.03.2010	21:16:43	N4127295E03147386

(a) EMR-300 cihazı ile ölçülen elektrik alan değerlerinden bir bölüm

(b) GPS cihazı ile ölçülen koordinat verileri

Sıra No	Dönüştürülmüş Koordinatlar		Elektrik Alan (V/m)
9	398868.9557	4591881.5205	0.9000
10	398868.9557	4591881.5205	0.4700
11	398868.9557	4591881.5205	0.3500
12	398868.9557	4591881.5205	0.4100
13	398868.9557	4591881.5205	0.4500
14	398868.9557	4591881.5205	0.4100
15	398868.9557	4591881.5205	0.4100
16	398877.3117	4591881.4036	0.4100
17	398877.3117	4591881.4036	0.4100
18	398877.3117	4591881.4036	0.5000
19	398877.3117	4591881.4036	0.4700
20	398877.3117	4591881.4036	0.4100
21	398877.3117	4591881.4036	0.3800

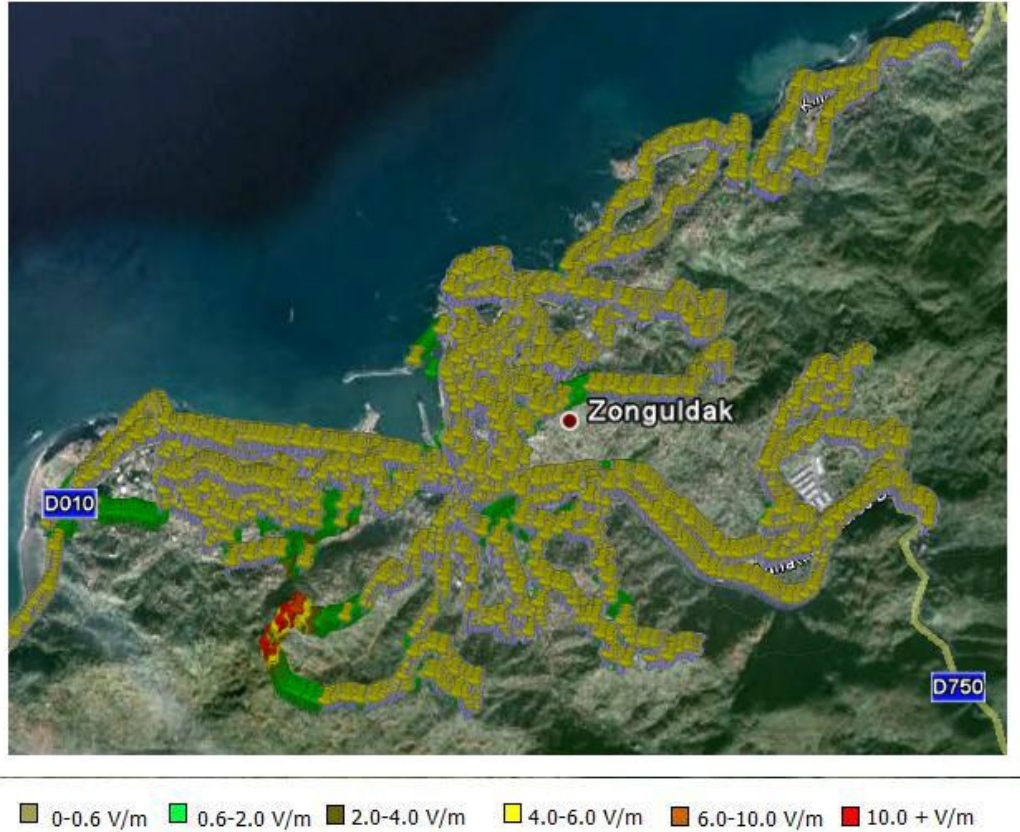
(c) Elektrik alan ve dönüştürülmüş koordinat verilerinin aynı zaman aralığındaki eşleştirilmiş görünümü

Şekil 4.7 Ölçüm değerlerinin text olarak görünümü.

Ölçülen elektrik alan değerleri, büyüklüklerine göre 6 grup renkle sınıflandırılarak her grubun ayrı ayrı ya da bir arada Google Earth üzerinde yerleşimini sağlamak üzere *.kml dosyaları oluşturulmuştur. Böylece E-alan şiddeti değerleri, 6 grup renk aralığında, birlikte ya da ayrı ayrı sayısal harita üzerinden izlenebilir olmuştur.

Şekil 4.8’de tüm ölçüm sonuçlarını ve dolayısıyla tüm renk gruplarını içeren harita gösterilmiştir. Şekil 4.9’de 0.6 V/m ve üzeri, Şekil 4.10’da 2 V/m ve üzeri, Şekil 4.11’de 4 V/m ve üzeri, Şekil 4.12’de 6 V/m ve üzeri, Şekil 4.13’de de 10 V/m ve üzeri ölçüm değerlerini içeren haritalar gösterilmiştir.

Ayrıca değerler üzerinde interpolasyon yapabilen SURFER adlı program kullanılarak, 2B ve 3B haritalar sırası ile Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Tüm ölçüm sonuçlarının Google Earth haritada görünümü.



Şekil 4.9 E- alan şiddeti değeri 0.6 V/m (yeşil) ve üzerinde olan yerler.

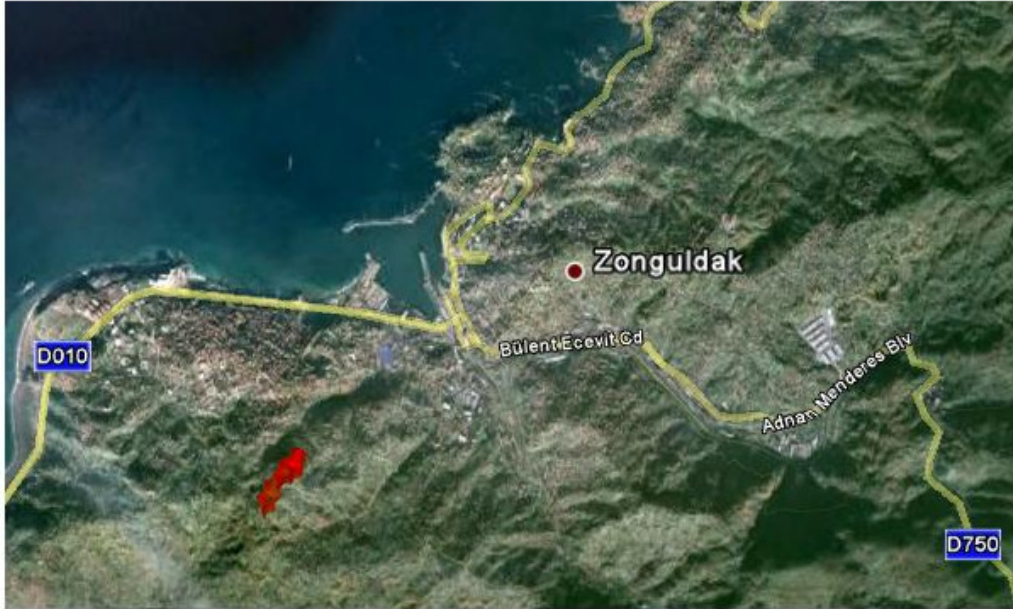


Şekil 4.10 E- alan şiddeti değeri 2 V/m (zeytin) ve üzerinde olan yerler.



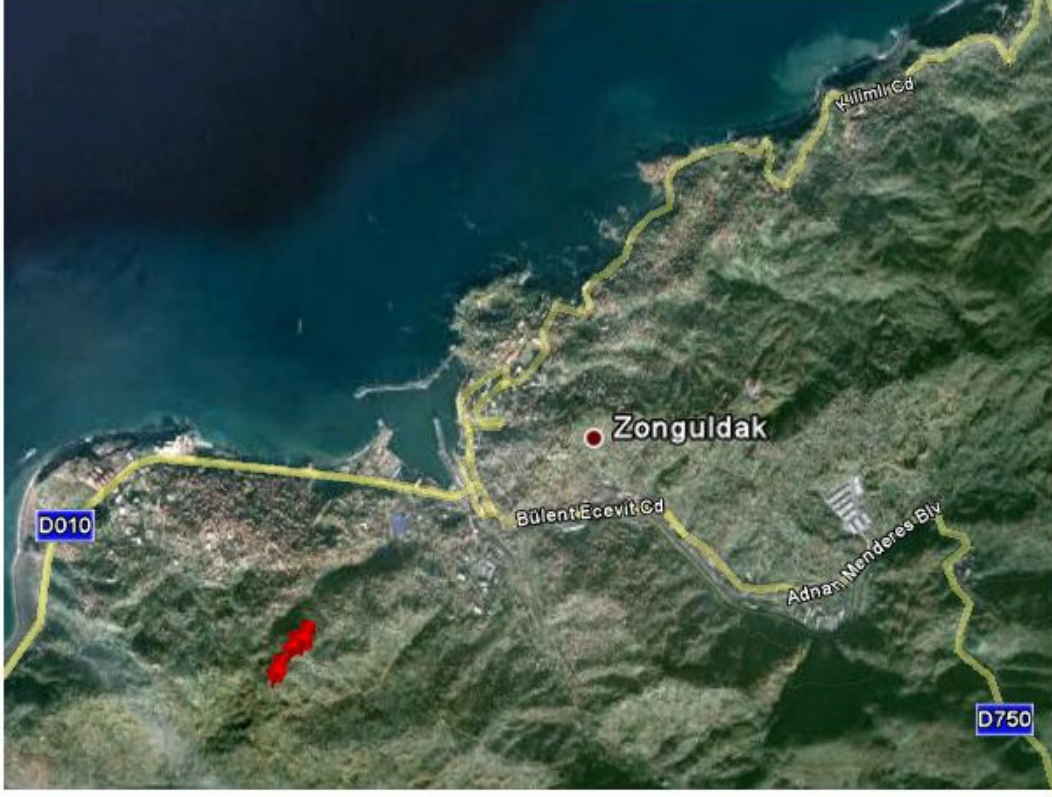
4.0-6.0 V/m 6.0-10.0 V/m 10.0 + V/m

Şekil 4.11 E-alan şiddeti değeri 4 V/m (sarı) ve üzerinde olan yerler.



6.0-10.0 V/m 10.0 + V/m

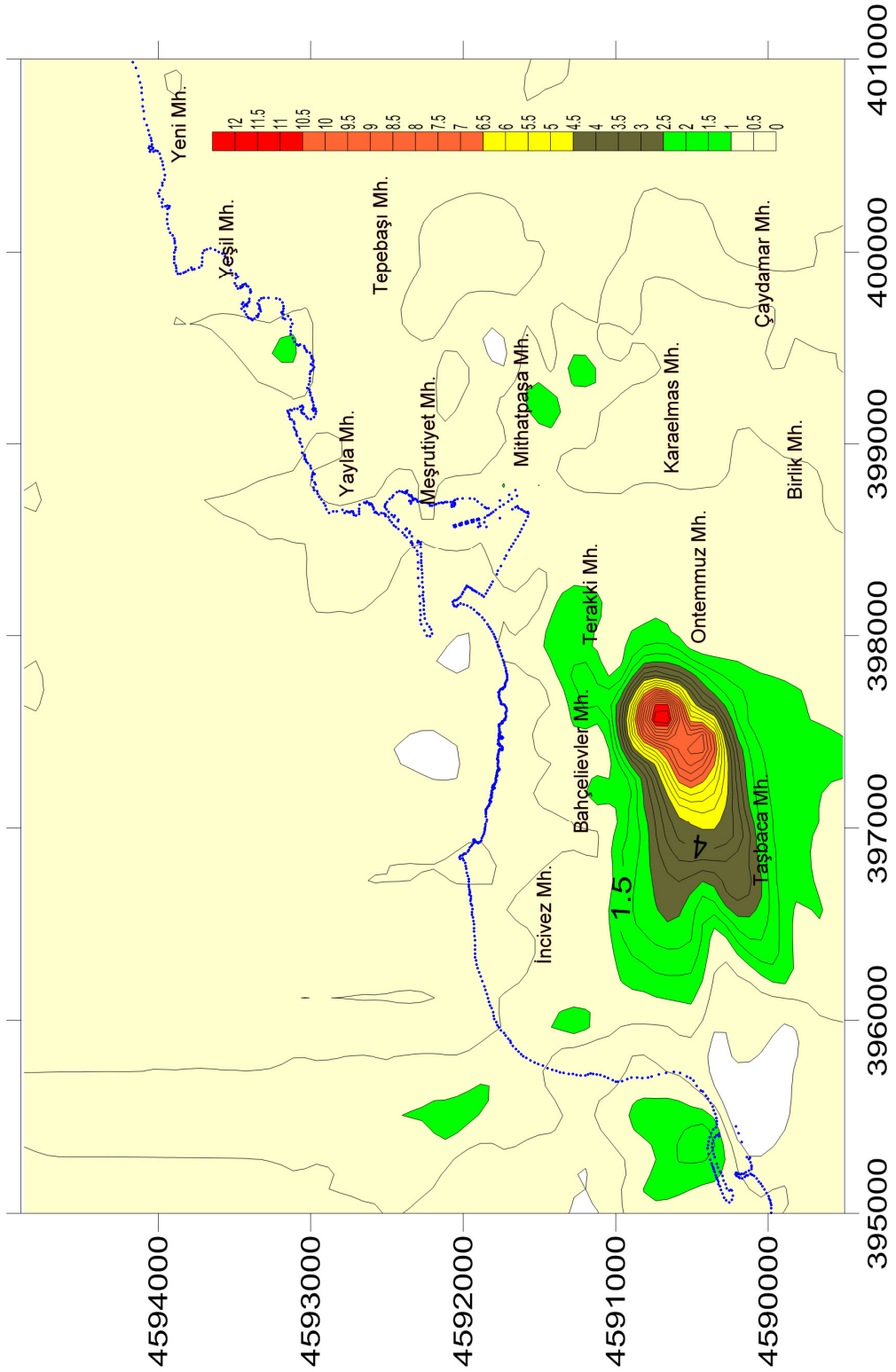
Şekil 4.12 E-alan şiddeti değeri 6 V/m (turuncu) ve üzerinde olan yerler.



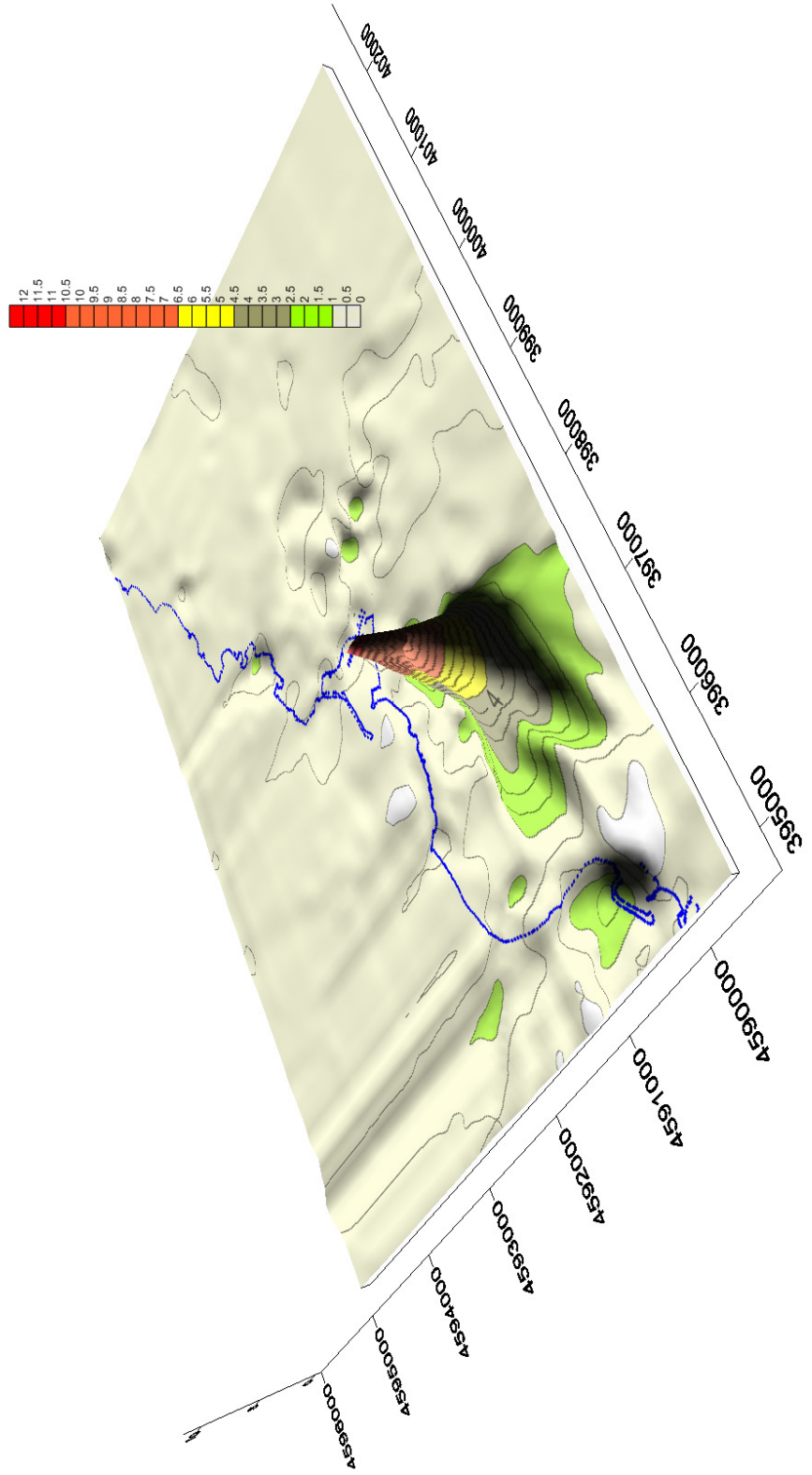
Şekil 4.13 E-alan şiddeti değeri 10 V/m (kırmızı) ve üzerinde olan yerler.

Ölçüm turları için, kullanılan aracın kilometre sayacına göre 250 km mesafe kat edilmiştir. 19 ölçüm turu 08 Mart 2010 ve 14 Mart 2010 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Nüfusun yoğun olduğu çarşı merkezinde, değişik tarih ve saatlerde 6 tur gerçekleştirilmiştir. Böylece aynı mahal için çok sayıda ölçüm gerçekleştirilerek ölçüm değerleri arasında büyük bir sapma olup olmayacağı konusunda bilgi sahibi olmak amaçlanmıştır. Şekil 4.16’da tekrar eden çok sayıda ölçüm turunun yapıldığı çarşı merkezinden bir bölüm gösterilmiştir.

Ölçümlerin toplam süresi, 10 saat 38 dakika 12 salisedir. 250 km mesafe kat edildiği göz önüne alındığında, ortalama araç hızının yaklaşık 25 km/h olduğu hesaplanabilir. Ölçüm süresi boyunca 19125 adet elektrik alan şiddeti değeri kaydedilmiştir. Bazı ölçüm değerlerinin GPS’in yeterli sayıda uydudan veri alamaması nedeniyle yanlış konum belirlenmesi, ölçme cihazlarında oluşan problemler nedeniyle hatalı olduğu tespit edilmiştir; bunların sayısı toplam 450 kadardır.



Şekil 4.14 Zonguldak 2B EMR haritası.



Şekil 4.15 Zonguldak 3B EMR haritası.



0-0.6 V/m 0.6-2.0 V/m

Şekil 4.16 Kent merkezi ölçüm noktaları yoğunluğu.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Zonguldak kent merkezinde yapılan elektrik alan şiddeti ölçümlerinin sonuçları ve öneriler, bu son bölümde irdelenmiştir.

5.1 SONUÇLAR

Teknolojideki gelişmelerin bir sonucu olarak elektromanyetik dalgaların kullanımı her geçen gün artmakta ve bundan dolayı günlük yaşantıda doğada bulunanın çok üstündeki seviyelerde elektromanyetik dalgalara maruz kalınmaktadır. Yaşadığımız alanlarda bulunan elektrik akımı taşıyan kablolar, yüksek gerilim hatları, trafolar, radyo frekans dalgaları yayan radyo ve TV vericileri, cep telefonu ve baz istasyonları, kablosuz haberleşme sistemleri, mikro dalga yayan ev aletleri vb.nin yarattığı, insanın ve diğer canlıların üzerinde ya da çalışan sistemlerde bozucu etkiler yaratan elektromanyetik alanlar, ‘elektromanyetik kirlilik’ olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada 100 kHz – 3 GHz frekans bandında yapılan ölçümlerle, Zonguldak kent merkezindeki elektromanyetik kirlilik, düzeylerine göre renklendirilerek haritalandırılmıştır. Ölçüm aralığı, radyo ve TV yayınları, cep telefonu ve baz istasyonları, telsizler, kordsuz telefon sistemleri, kablosuz haberleşme ve mikro dalga frekanslarını kapsamaktadır. Zonguldak kent merkezi için elektromanyetik kirlilik düzeyinin tespiti sonucunda, ölçüm sonuçlarının sınır değerlerini aşp aşmadığının kontrolü ile risk değerlendirmesi yapılarak önlem alınmasının sağlanması amaçlanmıştır.

Ölçüm yöntemi olarak, hareket halindeki özel bir araçta konumlandırılan EMR ölçüm cihazı, GPS cihazı ve bu cihazlardan alınan ölçüm ve konum bilgilerinin kaydedildiği taşınabilir bir kişisel bilgisayardan oluşan dinamik yöntem kullanılmıştır. Zonguldak kent merkezinde nüfusun yoğun olduğu çarşı merkezinde, aynı mahalden en az beş tur ile ölçümler yapılmış, şehir merkezine yakın tüm mahallelerin ana yollarında ve bazı yoğun nüfuslu mahalle

yollarında toplam 19 tur yapılarak ölçümler tamamlanmıştır. Ölçümler 8-14 Mart 2010 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir.

Zonguldak kent merkezinin 100 kHz – 3 GHz frekans bandında ölçülen elektrik alan şiddeti (V/m) değerleri, uluslararası ICNIRP (Çizelge 3.2) ve ulusal BTK (Çizelge 3.3) referans ortam limit değerlerinin oldukça altında olup, bu limit değerlere göre Zonguldak kent merkezi için elektromanyetik kirlilikten söz edilemeyeceği anlaşılmaktadır.

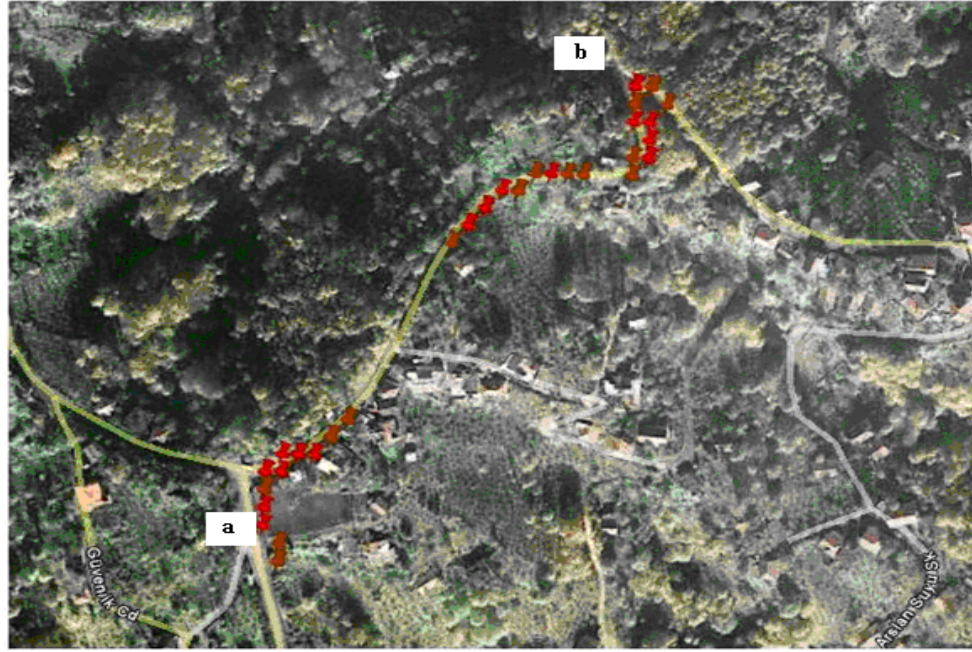
En yüksek değer ölçümü, 18,84 V/m olarak Ontemmuz Mahallesi radyo-TV vericilerinin bulunduğu alanda gerçekleştirilmiştir. Bu alanda ölçülen değerler BTK (Çizelge 3.3) referans tek cihaz için limit değerlerin üzerindedir. Ancak ölçüm sonrası yerinde yapılan incelemede çok sayıda verici – anten görülmüş ve Şekil 5.1’de bu alanın haritada yakın plan görünümü ve fotoğraflarına yer verilmiştir. Geniş bantlı (100 kHz – 3 GHz problu) EMR ölçüm cihazı kullanıldığından, BTK limit değerlerine göre tek cihaz için ölçüm sonuçlarının uygun olup olmadığı tespit, selektif (seçici) ölçüm cihazı ile yapılacak ölçümler sonucunda mümkün olacaktır.

Genel olarak E-alan şiddetinin 4 V/m’nin altında ve yoğun olarak 2 V/m altında olduğu görülmektedir.

5.2 ÖNERİLER

Yapılan çalışmada en yüksek değer, 18,84 V/m olarak Ontemmuz Mahallesi radyo-TV vericilerinin bulunduğu alanda ölçülmüştür. BTK tarafından, bu çalışmadan yaklaşık bir yıl önce yapılan ölçümlerde de (Ek Açıklamalar B) aynı bölgede en yüksek değer 10,67 V/m olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. Şekil 5.1’de en yüksek değer ölçülen alanın harita üzerindeki yakın plan görünümü ile fotoğraflarına yer verilmiştir. Sahada 5 direk üzerinde çok sayıda ve çeşitli anten tipleri görülmüştür. Aynı sahada birkaç katlı konut ve kahvehane olarak kullanılan yapılara rastlanmıştır. Ölçüm sonuçlarının Çizelge 3.3’de gösterilen ortamın toplam limit değerlerinin altında olmasına karşın, EM dalgaların insan sağlığı üzerine etkilerinin Bölüm 3’de anlatıldığı üzere tartışılan bir sorun olması nedeniyle ve BM ihtiyatlılık ilkesi gereği bu sahada yaşam alanlarına izin verilmemesi uygun olacaktır.

Türkiye’de limit değerlerin 4 kat daha katı uygulandığı BTK dokümanlarında (Uçar 2009) belirtilmesine karşın, bu uygulamanın olası insan sağlığına zararlı etkiler ortaya çıkmadan BM ihtiyatlılık ilkesi bazında olmadığı, sadece birden fazla cihaz kurulumu yapılan sahalarda her hangi bir cihaz için en yüksek limiti belirlediği anlaşılmaktadır. Zira tek cihaz için sağlık riski oluşturacak bir limit değerini ortam için risk oluşturmayacağını ifade etmek anlamlı olmaz. Zonguldak kent merkezi için yapılan ölçümlerin değerlerine göre, tek cihaz için uygulanan limit değerleri ortam için uygulamak, vericilerin olduğu saha dışında gerçekleştirilebilir görünmektedir.



(a)

(b)

Şekil 5.1 E-alan şiddeti değerinin 10 V/m üzerindeki yerlerin yakın plan görünümü (a ve b).

EMR ölçümlerine ilişkin sonuçların çeşitli ülkelerde kurulan internet siteleri üzerinden izlenmesi sağlanmakta (Ek Açıklamalar A) ve İrlanda İletişim Düzenleme Komitesi COMREG tarafından da anten yakınında yapılan ölçüm sonuçlarının yayınlandığı (Bölüm 3.1.4.3) bilinmektedir. Ülkemizde ise BTK tarafından bu çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan ölçümlerin sonuçlarının istekliler tarafından öğrenilmesini kolaylaştıracak mevzuat değişiklikleri gerçekleştirilebilirse yararlı olur. Ayrıca her yerleşim alanı için, o alanda yetkili yerel yönetim tarafından operatörlerden ve düzenleyici kuruluş BTK'dan bağımsız olarak, gerekirse önlem alınmak üzere, periyodik ölçümlerin yaptırılarak sonuçlarının duyurulmasına ilişkin yasal bir düzenleme yararlı olacaktır.

EMR ölçümlerinin konuyla ilgili ölçüm bilgisi ve ölçüm donanımı altyapısına sahip üniversite ve ilgili kamu kurumu niteliğinde meslek örgütü olan TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası tarafından gerçekleştirilmesini sağlayacak yasal bir düzenleme yapılmalıdır.

EM kirlilik ve insan sağlığına etkileri konusunda yapılacak araştırma, periyodik ölçüm vb. giderlerin, EMR kaynağı radyo-TV istasyonları ile telefon ve telsiz operatörleri tarafından karşılanmasını sağlayacak bir fon oluşturulmak üzere yasal bir düzenleme yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ammoscato A, Corsale R, Dardanelli G, Scianna A and Villa B** (2008) GPS-GIS Integrated System For Electromagnetic Pollution, *The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing ISPRS Congress Beijing 2008*, Vol. XXXVII. Part B1, Commission I, 491-498
- BTK** (2009) *Elektronik Haberleşme Cihazlarına Güvenlik Sertifikası Düzenlenmesine İlişkin Yönetmelik*, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 27230 sayılı Resmi Gazete, 16 Mayıs 2009.
- Diñer H** (2000) Elektromanyetik Işınımların İnsan Sağlığına Etkisi, http://www.emo.org.tr/ekler/b9d31aa17b849b2_ek.pdf?dergi=214, *TMMOB Elektrik Mühendisliği Dergisi*, Sayı 406, Ağustos 2000, 12 Mayıs 2010.
- EU (1999) Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), 1999/519/EC, *Official Journal of the European Communities*, L199, 30.07.1999, p.59-70.
- EU (2004) Corrigendum to Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields), *Official Journal of the European Communities*, L184, 24.05.2004, p.1-9.
- Firengiz A ve Kavas A** (2010), Cep Telefonlarından Yayınlanan Elektromagnetik Radyasyon Ölçümleri ve Maruz Kalma Standartlarının Değerlendirilmesi, http://www.emo.org.tr/ekler/ce6fc704072e351_ek.pdf, 12 Mayıs 2010.
- Genç Ö ve Bayrak M** (2007) 100 KHz – 3 GHz Frekans Spektrumunda Ortamdaki Elektromanyetik Kirliliğe Bandlarının Etkileri, *Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu (HABTEKUS 07)*, http://www.habtekus.yildiz.edu.tr/2007/cd/bildiriler/haberlesme_uygulamaları/47.pdf, 30 Mayıs 2010.
- Habash R W Y** (2008) *Bioeffects And Therapeutic Applications Of Electromagnetic Energy*, CRC Press NW U.S. 380p
- ICNIRP** (1998) Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, *Health Physics*, Vol.74, Number 4:494-522, April 1998.
- Perez-Vega C and Zamanillo J M** (2005) Measurements of Non-Ionizing Radiation Levels in an Urban Environment, *Wireless Technology 2005, The European Conference on 3-4 Oct. 2005*. p.205-208.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Saustingl J ve Önal M** (2009) Kişisel görüşme, Narda Geniş Bantlı ve Selektif Elektromanyetik Alan Ölçüm Teknikleri ve Uygulamaları, İstanbul, 28 Ekim 2009.
- Semerci M** (2010) Kişisel görüşmeler. BTK Samsun.
- Sevgi L** (2000a) *Elektromanyetik Uyumluluk Elektromanyetik Kirlilik*. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayın Dizisi 2000/1, Yapım Matbaa, 320 s.
- Sevgi L** (2000b) Elektromanyetik Kirlilik, Cep Telefonları ve Baz İstasyonları, http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/EMC_YAZI/emc_emo.pdf, *TMMOB Elektrik Mühendisliği Dergisi*, Sayı 406, Ağustos 2000, 12 Mayıs 2010.
- Şeker S** (2000) Elektromanyetik Kirlenme, Etkileri ve Güvenlik Önlemleri, http://www.emo.org.tr/ekler/023a1e3447fdb31_ek.pdf?dergi=214, *TMMOB Elektrik Mühendisliği Dergisi*, Sayı 406, Ağustos 2000, 12 Mayıs 2010.
- Şeker S ve Çerezci O** (2000) *Radyasyon Kuşatması Elektriğin ve Nükleer Enerjinin Sağlığımıza Etkileri*, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 189 s.
- Taborda R A M, Vanella O R and Sabella M** (2010) Mobile Non Ionizing Radiation Measurement System <http://www.liade.efn.unc.edu.ar/informacion/mobile.pdf>, L.I.A.D.E. - F.C.E.F.yN. Universidad Nacional de Córdoba, Av. V. Sarsfield 1600, Ciudad Universitaria - Córdoba, Argentina, 08 Mayıs 2010.
- The Interphone** (2010) Study Group, Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study, <http://ije.oxfordjournals.org/cgi/reprint/39/3/675?maxtoshow=&hits=10&RESULTFORMAT=1&title=interphone&andorexacttitle=and&andorexacttitleabs=and&andorexactfulltext=and&searchid=1&FIRSTINDEX=0&sortspec=relevance&resourcetype=HWCIT>, *International Journal of Epidemiology* 2010;1-20, Oxford University Press, Volume 39, Number 3, Pp. 675-694, 15 Haziran 2010.
- Uçar N** (2009) *Avrupa Ülkelerinde Elektromanyetik Alanlarla İlgili Mevzuatlar ve Uygulamalar Raporu*, <http://www.tk.gov.tr/sas/dokumanlar/word/AvrupadaEMF.doc>, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, Ankara, Temmuz 2009, 15 Haziran 2010.
- URL-1** (2010) http://www.saglikkentlerbirliigi.org.tr/pdf/izmir_3_yil_sunum/evrim_ekiz.pdf Nilüfer Elektromanyetik Alan Kirliliği Projesi, Evrim Ekiz, 30 Mayıs 2010.
- URL-2** (2001) <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/gsm.pdf>, Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları, Tubitak-Bilten 2001, 08 Mayıs 2010.
- URL-3** (2010) <http://www.iso.org.tr/tr/Documents/Cevre/ELEKTROMANYETIK%20KIRLILIK%20RAPOR.pdf> Elektromanyetik Kirlilik ve Standartlar, Aktül Kavas, 12 Mayıs 2010.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-4** (2010) <http://www.tk.gov.tr/sas/dokumanlar/word/avkomsaveEMFbro.doc>, Sağlık ve Elektromanyetik Alanlar, Avrupa Komisyonu Topluluk Araştırması, 12 Mayıs 2010.
- URL-5** (2010) http://www.gnrk.gazi.edu.tr/Porto_Alegre_Bildirgesi.pdf, Porto Alegre Bildirgesi, 06 Haziran 2010.
- URL-6** (2003) <http://www.erodocdb.dk/docs/doc98/official/pdf/ECCREC0204.pdf>, ECC/REC/(02)04, Measuring Non-Ionising Electromagnetic Radiation (9 kHz – 300 GHz), Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), 06 Haziran 2010.
- URL-7** (2010) http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=945, İl, yaş grubu ve cinsiyete göre nüfus, 15 Haziran 2010.
- URL-8** (2010) <http://www.zonguldak.gov.tr>, Zonguldak Valiliği, 15 Haziran 2010.
- URL-9** (2010) <http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/>, 15 Haziran 2010.
- URL-10** (2010) <http://www.mobiletisim.com/images/haberfoto/other/45080301CE31.jpg>, 15 Haziran 2010.
- URL-11** (2010) http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_tayf, 15 Haziran 2010.
- Uygunol O ve Durduran S S** (2010) Elektromanyetik Kirlilik Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Oluşturulması: Konya Örneği, *hkm Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Sayı 102, 2010/1, s. 19-23.
- Yüreklİ A İ** (2007) *Elektromanyetik Alanların Sağlığa Etkileri Konusunda Son Yıllarda Yayınlanan Raporlar*, <http://www.tk.gov.tr/sas/dokumanlar/word/tubitakuakea.doc>, TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü, Doküman Kodu:ETBD-5000-010, 15.05.2007, 15 Haziran 2010.

EK AÇIKLAMALAR A
EMR MONİTORİNG İNTERNET SİTELERİ

EMR monitoring internet siteleri

Yunanistan:

- <http://pedion24.physics.auth.gr>

İsviçre:

- <http://rems.ti-solutions.ch/index.php>
- <http://www.e-smogmessung.ch/i4Def.aspx?tabindex=0&tabid=50>

Portekiz:

- http://www.lx.it.pt/monit/index_en.htm

Mısır:

- <http://www.projecthorus.com/emf>

İngiltere:

- <http://www.portsmouth.gov.uk/living/3358.htm>
- <http://www.stroud.gov.uk/docs/cassiopea.asp>

İtalya:

- http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/cem/generale_54.asp
- <http://www.osservatoriocampisalentina.it/dataView/dataView.php>

EK AÇIKLAMALAR B
BTK SAMSUN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ YAZISI

BTK Samsun Bölge Müdürlüğü Yazısı



T.C.
BİLGİ TEKNOLOJİLERİ VE İLETİŞİM KURUMU
Samsun Bölge Müdürlüğü

Sayı :B.62.0.BTK.1.05.00.00-241.05- 28972

21.04.2010

Konu : EMR Saha Ölçümleri.

SN. BÜLENT ÖZGÜMÜŞ
T.T.K. GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
MAKİNE VE İKMAL DAİRESİ BAŞKANLIĞI
B.ECEVİT CAD. NO:2 67040
ZONGULDAK

İlgi : a) 07.04.2010 tarih ve B.62.0.BTK.0.12.301.99/25419-1113
b) 21.04.2010 tarihli müracaatınız.

İlgi(b) müracaatınız incelenmiş olup, Bölge Müdürlüğümüzce Zonguldak il merkezinde 18-19 Nisan 2009 tarihlerinde gerçekleştirilen Elektromanyetik Alan Saha Ölçümlerinin ham verileri Kurumumuzun ilgi(a) yazıları gereğince tarafınıza gönderilememiştir.

Ancak, anılan tarihlerde Bölge Müdürlüğümüzce yapılan ölçümlerde Zonguldak ilinde elde edilen en yüksek değer 10,67 V/m olup bu konumda, On Temmuz Mah. Dervişler Tepesindeki Radyo/TV verici istasyonları bulunmaktadır.

Bilgilerinizi rica ederim.


Ahmet TOR
Bölge Müdürü

EK AÇIKLAMALAR C
GPS TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Specifications

CHARACTERISTICS

Performance

Receiver 12 parallel-channel technology, tracks up to 12 satellites to compute and update information with quadrifilar antenna

Acquisition Times (under optimal conditions):

Warm approximately 15 seconds

Cold approximately 1 minute

Update Rate 1 second continuous

Accuracy

Position 7 meters, 95% 2D RMS
w/WAAS <3 meters, 95% 2D RMS

Velocity 0.1 knot RMS steady state

Limits:

Speed 951 mph

Altitude 17,500 meters

Physical:

Size 5.6" x 2.2" x 1.2" [h] x [w] x [d]
14.2 cm x 5.6 cm x 3.0 cm

Weight 6.8 ounces (204 grams) with 2 AA batteries installed

Display 2.2" x 1.2" [h] x [w]
5.8 cm x 3.0 cm
1/8VGA (240 x 160 pixels)

Housing Weatherproof construction, wraparound rubber armor

Temp. Range

Operating 14°F to 140°F to (-10°C to 60°C)

Storage -4°F to 158°F (-20°C to 70°C)

Power:

Source 2 AA alkaline batteries or 9-18 VDC with power cable

Battery Life Up to 14 hours

EK AÇIKLAMALAR D
NARDA EMR-300 TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Narda EMR-300 Teknik Özellikleri

8.8 General specifications EMR

8.8 General specifications

Power supply

Rechargeable batteries 2 x Mignon (AA) 1.2 V
 Battery capacity 600 mAh
 Dry batteries 2 x Mignon (AA) 1.5 V
 Operating life
 Rechargeable batteries typically 8 h
 Dry batteries (alkaline manganese) > 15 h
 Battery charging using NT-20 Charger Unit supplied

Ambient temperature

Operating range 0 to +50 °C

Mechanical stress

to IEC 721-3 class 7M3

Dimensions and weight

Dimensions (w x h x d in mm)
 including sensor
 and impact protection approx. 96 x 64 x 465
 Weight (with rechargeable cells) approx. 450 g

Appendix A: Instrument overview

A.1 Front panel (example: EMR-300)

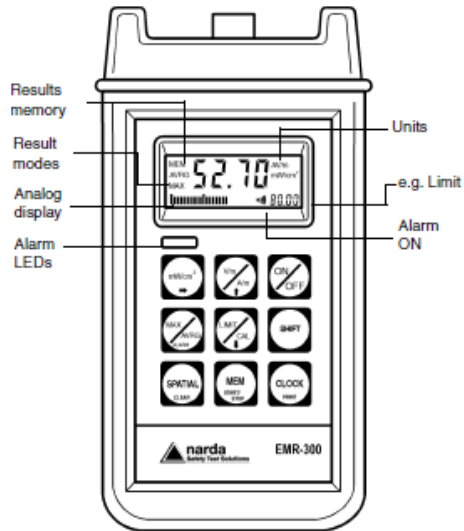


Fig. A-1 EMR front panel with displays and controls

8-4

A-1

Appendix B: Field probes EMR

Ordering information

Type 8C E-field probe, 100 kHz to 3 GHz . . 2244/90.21
 Type 9C E-field probe, 3 MHz to 18 GHz . . 2244/90.23
 Type 11C E-field probe, 27 MHz to 60 GHz . . 2244/90.25

 Type 10C H-field probe, 27 MHz to 1 GHz . . 2244/90.27
 Type 12C H-field probe, 300 kHz to 30 MHz . . 2244/90.29
 Type 13C H-field probe, 3 kHz to 3 MHz . . . 2244/90.51
 Type 14C H-field probe, 80 MHz to 1 GHz,
 high sensitivity 2244/90.53

B-2

ÖZGEÇMİŞ

Bülent Özgümüş, 1 Ağustos 1965 Zonguldak doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak'ta tamamlamış, 1986 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Sakarya Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir.

Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü'nde Elektrifikasyon-Planlama Başmühendisi olarak çalışmaktadır. Aynı zamanda TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Zonguldak İl Temsilciliğini sürdürmektedir. Ayrıca TSE MTC 113 Ayna Komite üyesidir.

Hasibe Özgümüş ile evli, bir kız (Dilay) ve bir erkek (Onat) çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: TTK Genel Müdürlüğü

Makine ve İkmal Dairesi Başkanlığı

Bülent Ecevit Caddesi, No: 2

67040 Merkez - ZONGULDAK

Tel: (0372) 259 47 19

E-posta: bulent.ozgumus@taskomuru.gov.tr

Bülent ÖZGÜMÜŞ