

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**BALIKESİR İLİ ŞEHİR MERKEZİ VE BALIKESİR
ÜNİVERSİTESİ ÇAĞIŞ YERLEŞKESİ' NİN
ELEKTROMANYETİK ALAN HARİTASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALPER KEYSAN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2015

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**BALIKESİR İLİ ŞEHİR MERKEZİ VE BALIKESİR
ÜNİVERSİTESİ ÇAĞIŞ YERLEŞKESİ' NİN
ELEKTROMANYETİK ALAN HARİTASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALPER KEYSAN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Alper KEYSAN tarafından hazırlanan “**BALIKESİR İLİ ŞEHİR MERKEZİ VE BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ ÇAĞIŞ YERLEŞKESİ’ NİN ELEKTROMANYETİK ALAN HARİTASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 04.06.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Bayram ESEN

.....

Üye

Doç. Dr. Serkan ŞİMŞEK

.....

Üye

Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

KABUL VE ONAY SAYFASI

Alper KEYSAN tarafından hazırlanan "BALIKESİR İLİ ŞEHİR MERKEZİ VE BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ ÇAĞIŞ YERLEŞKESİ'NİN ELEKTROMANYETİK ALAN HARİTASI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 04.06.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Bayram ESEN



Üye
Doç. Dr. Serkan ŞİMŞEK



Üye
Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR



ÖZET

**BALIKESİR İLİ ŞEHİR MERKEZİ VE BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ ÇAĞIŞ
YERLEŞKESİ' NİN ELEKTROMANYETİK ALAN HARİTASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ALPER KEYSAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: YRD.DOÇ.DR. BAYRAM ESEN)
BALIKESİR, HAZİRAN – 2015**

Elektromanyetik alanlar ile oluşan elektromanyetik kirlilik konusu günümüzde çok tartışılan ve dikkat çeken bir konudur. Ülkemizde ve tüm dünyada bu konu üzerinde, özellikle canlı yapılar üzerindeki uzun vadede etkilerinin araştırılması amacıyla, çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu bağlamda çalışmada, bilimsel bir kaynak oluşturmak amacıyla Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nin 100 KHz – 3 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik alan haritaları çıkartılmıştır. Ölçümler Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu onaylı cihazlar kullanılarak, Drive Test yöntemi ile icra edilmiştir. Ölçüm sonuçlarından elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri kullanılarak iki boyutlu ve üç boyutlu renklendirilmiş tematik haritalar oluşturulmuştur. Ölçülen değerler, ulusal ve uluslararası EMR maruziyet limit değerleri ile karşılaştırıldığında, sınır değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Elektromanyetik Alan Haritası, Elektromanyetik Kirlilik, Sayısal Harita, Balıkesir, Balıkesir Üniversitesi, Çağış Yerleşkesi

ABSTRACT

ELECTROMAGNETIC FIELD MAP OF BALIKESIR CITY CENTER AND BALIKESIR UNIVERSITY CAGIS CAMPUS

MSC THESIS

ALPER KEYSAN

BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST.PROF.DR. BAYRAM ESEN)

BALIKESİR, JUNE 2015

Issue of electromagnetic pollution caused by electromagnetic fields is an issue much debated today and attracts attention. In our country and the whole world lots of researches on this issue, especially to investigate the long-term impact on living creatures were conducted and continue. In this study, in order to create scientific resource, electromagnetic field maps were obtained in the frequency range of 100 KHz – 3 GHz from Balikesir city center and Balikesir University Cagis Campus. Measurements were taken by devices confirmed by Information and Communication Technologies Authority were performed in accordance with the Drive Test method. Using the electric field intensity values obtained from the measurement results colored 2D and 3D thematic maps were created. Measured values were determined to be under the limit values compared with the national and international EMR exposure limit values.

KEYWORDS: Electromagnetic Field Map, Electomagnetic Pollution, Digital Mapping, Balikesir, Balikesir University, Cagis Campus

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	4
3. TEMEL ELEKTROMANYETİK KAVRAMLAR	8
3.1 Alanlar	8
3.1.1 Elektrik Alan.....	8
3.1.2 Manyetik Alan	11
3.1.3 Elektromanyetik Alan	12
3.1.4 Doğal Elektromanyetik Alanlar	13
3.1.5 Yapay Elektromanyetik Alanlar	14
3.2 Elektromanyetik Radyasyon.....	14
3.2.1 İyonlaştırıcı Radyasyon	17
3.2.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon.....	18
3.2.3 Soğurma Özellikleri	19
3.2.4 Penetrasyon ve Frekans Özellikleri	20
3.2.5 Polarizasyon	21
4. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ	26
4.1 Elektromanyetik Alanların Olumlu Etkileri	26
4.2 Elektromanyetik Alanların Olumsuz Etkileri	28
4.3 İnsan Sağlığı Açısından Uluslararası Standartlar ve Sınır Değerler	30
4.4 İnsan Sağlığı Açısından Ulusal Standartlar ve Sınır Değerler	32
5. ÇALIŞMA ALANI VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ	35
5.1 Çalışma Alanı	35
5.1.1 Balıkesir İli Şehir Merkezi.....	36
5.1.2 Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi.....	38
5.2 ÖLÇÜM YÖNTEMİ	39
5.2.1 Kullanılan Ekipmanlar	40
5.2.1.1 Elektrik Alan Ölçüm Cihazı.....	40
5.2.1.2 GPS Cihazı	42
5.2.1.3 Ölçüm Düzeneği.....	43
5.2.2 Ölçüm Yöntemi.....	44
5.2.2.1 Drive Test Yöntemi.....	44
5.2.3 Sayısal Harita Gösterimi	45
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
6.1 Balıkesir İli Şehir Merkezi	48
6.2 Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi	52
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	56
8. KAYNAKLAR	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1:	Orbitofrontal korteks seviyesinde yatay beyin glikoz metabolizması görüntüsü.....	7
Şekil 3.1:	Elektrik alana bırakılan artı yüklü ve eksi yüklü parçacıkların hareketi	9
Şekil 3.2:	a) Eksi yüklü cismin elektrik alan çizgileri b) Artı yüklü cismin elektrik alan çizgileri c) Aynı yüklü cisimlerin elektrik alan çizgileri d) Farklı yüklü cisimlerin elektrik alan çizgileri.....	10
Şekil 3.3:	Pasif durumdaki bir elektrikli cihazın yaydığı elektrik alan	11
Şekil 3.4:	Sağ el kuralı ile manyetik alan yönünün bulunması	11
Şekil 3.5:	Elektromanyetik tayf	16
Şekil 3.6:	Elektromanyetik tayf' ta atmosferden geçebilen ve geçemeyen dalgaların frekans ve dalga boyuna göre gösterilmesi	16
Şekil 3.7:	Gama ışınımı	17
Şekil 3.8:	Alfa (α), beta (β), parçacıkları ve gama (γ) ışınının insan bedenine nüfuz etme oranları	18
Şekil 5.1:	Balıkesir ili şehir merkezi çalışma alanı uydu görüntüsü	37
Şekil 5.2:	Balıkesir ili şehir merkezi baz istasyonları kaynaklı elektromanyetik alan haritası (BTK).....	37
Şekil 5.3:	Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi çalışma alanı uydu görüntüsü.....	38
Şekil 5.4:	Narda marka 100KHz – 3 GHz frekans aralığına uygun probe takılmış EMR-300 ölçüm cihazı	41
Şekil 5.5:	Ölçümlerde kullanılan Piranha marka GPS cihazı	42
Şekil 5.6:	Ölçümlerde kullanılan GPS cihazının araç içerisindeki yerleşimi	42
Şekil 5.7:	Elektrik alan ölçüm düzeneği	43
Şekil 5.8:	Ölçümde kullanılan EMR bilgisayar programının değer alırken alınan ekran görüntüsü	43
Şekil 5.9:	Mapinfo yazılımında sayısal harita oluşturmak için tablo dosyasından verialınması	46
Şekil 5.10:	Tablo dosyasından alınan koordinat ve elektrik alan değerlerinden noktasal harita oluşturma	46
Şekil 5.11:	Mapinfo' da oluşturulan noktasal harita.....	47
Şekil 5.12:	Mapinfo yazılımı ile tematik harita oluşturma	47
Şekil 6.1:	Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nde ölçüm yapılan noktaların Google Haritalar üzerinde gösterimi	49
Şekil 6.2:	Balıkesir ili şehir merkezinde yapılan ölçümlerin renklendirilmiş gösterimi	49
Şekil 6.3:	Balıkesir ili şehir merkezinin iki boyutlu elektromanyetik alan haritası	50
Şekil 6.4:	Balıkesir ili şehir merkezinin üç boyutlu elektromanyetik alan haritası	50
Şekil 6.5:	Balıkesir ili şehir merkezinde elektrik alan şiddeti 4 V/m' yi aşan noktalar.....	51

Şekil 6.6:	Balıkesir ili şehir merkezinin Google Haritalar' da üzerinde gösterilmiş elektromanyetik alan haritası.....	52
Şekil 6.7:	Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nde yapılan ölçümlerin renklendirilmiş gösterimi	52
Şekil 6.8:	Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi elektromanyetik alan haritası	53
Şekil 6.9:	Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi üç boyutlu elektromanyetik alan haritası	54
Şekil 6.10:	Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi elektrik alan değeri 1 V/m' yi aşan noktalar	54
Şekil 6.11:	Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nin Google Haritalar üzerinde gösterilmiş elektromanyetik alan haritası.....	55
Şekil 7.1:	Balıkesir ili şehir merkezinde elektrik alan şiddeti değeri 4 V/m üzerinde ölçüm alınan bölgede bulunan baz istasyonları....	56
Şekil 7.2:	Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nde elektrik alan değeri 1 V/m üzerinde ölçüm alınan bölgede bulunan baz istasyonları...	57
Şekil 7.3:	Balıkesir ili şehir merkezi elektromanyetik alan haritaları	57

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Elektromanyetik tayfın frekans sınıfına göre dalgaboyu ve zenerji değerleri.....	15
Tablo 3.2: Bazı vücut dokularının 433 MHz, 900 Mhz ve 1800 MHz frekansında dielektrik ve iletkenlik değerleri.....	23
Tablo 3.3: 13.56 MHz – 2450 MHz frekans bandında farklı sıcaklıklarda kas dokusunun dielektrik sabiti ve iletkenlik değeri	24
Tablo 3.4: Çok düşük frekansta 1kV/m yatay elektrik alanine ve dokunmayla 1 mA akıma maruz kaldığı farz edilen insanın güç soğurması (Watt) dağılımı (f = 0.06 kHz).....	24
Tablo 3.5: 1 kV/m yatay elektrik alanına ve dokunmayla 1 mA akıma maruz kaldığı farz edilen insanın güç soğurması dağılımı (f = 3000 kHz).....	25
Tablo 4.1: Mesleki maruziyet için elektromanyetik limit değerleri (ICNIRP)	31
Tablo 4.2: Halk sağlığı elektromanyetik maruziyet sınır değerleri (ICNIRP)	32
Tablo 4.3: Ortam ve tek bir cihaz için belirlenen limit değerler (BTK).....	34
Tablo 4.4: Türkiye’ de geçerli elektromanyetik radyasyon sınır değerleri	34
Tablo 5.1: Ölçümlerde kullanılan Narda EMR-300 ölçüm cihazının tip 18C probu ile kullanıldığında teknik özellikleri	41

SEMBOL LİSTESİ

ANSI : American National Standards Institute

BBB : Blood-Brain Barrier

BM : Birleşmiş Milletler

c : Işık Hızı ($3 \cdot 10^8$ m/s)

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

BTK : Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu

DNA : Deoksiribonükleik asit

EEG : Elektroensefalografi

EKG : Elektrokardiyogram

ELF : Extremely Low Frequency

EMA : Elektromanyetik Alan

EMC : Elektromanyetik Uyumluluk

EMD : Elektromanyetik Dalga

EMR : Elektromanyetik Radyasyon

eV : Elektronvolt

f : Frekans (s^{-1} , Hz)

FCC : Federal Haberleşme Komisyonu

FDTD : Zaman Ekseninde Sonlu Farklar

Gy : Gray

h : Plank Sabiti

IEEE : The Institute of Electrical and Electronics Engineers

GPS : Global Positioning System

GSM : Global System for Mobile

ICNIPR: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

ICRP : Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu

ILO : International Labour Organization

IrCOMM: Infrared Communications Protocol

IrLAN: Infrared Local Area Networks

IrLAP: Infrared Link Access Protocol

IrOBEX: Infrared Object Exchange

IRLMP: Infrared Link Management Protocol

IrPHY: Infrared Physical Layer Specification

R : Röntgen

Rad : Radyasyon Emilim Dozu

RF : Radyo Frekans

RFR : Radyo Frekans Radyasyonu

S : Güç Yoğunluğu (W/m^2)

SAR : Specific Absorption Rate (W/Kg)

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System

Wb : Weber

WHO : World Health Organization

σ : Elektriksel İletkenlik (C^2/Nm^2)

ϵ : Bağlı Elektriksel Geçirgenlik

λ : Dalga Boyu (m)

μ : Ortamın Manyetik Geçirgenliği

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans safahatim boyunca bana her zaman destek olan, başta danışman hocam sayın Yrd.Doç.Dr. Bayram ESEN olmak üzere tüm Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi' nin saygıdeğer hocalarına en içten sevgi ve saygılarımla teşekkür ederim.

Tezin icrası safhasında, bana yol gösteren, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam sayın Arş.Gör. Abdurrahman Özgür POLAT' a, ayrıca gerek teçhizatların sağlanması, gerekse elektromanyetik alan haritalarının oluşturulması için gerekli olan elektrik alan şiddet değerleri ve koordinat bilgilerinin alınmasında çok büyük desteği olan sayın Halil YILMAZ' a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca, desteklerini her zaman hissettiğim başta komutanım Hv.Müht.Thrp.Yzb. Ahmet GÜN olmak üzere tüm komutanlarım ve silah arkadaşlarıma, ayrıca tez çalışması boyunca bana verdiği manevi destek ve anlayışından dolayı değerli arkadaşım Sercan SAĞLAM' a teşekkür ederim.

Son olarak, benim bu günlere gelmemde en büyük emeği olan ve maddi manevi desteklerini her zaman hissettiğim babam Ahmet KEYSAN, annem Fadime KEYSAN ve kardeşim Avni Deniz KEYSAN' a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

NOT: Hazırlamış olduğum yüksek lisans tezi bireysel görüşleri yansıtmakta olup, Türk Silahlı Kuvvetleri' nin görüşlerini yansıtmamaktadır.

1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojideki gelişiminin bir sonucu olarak ve sağladıkları yaşam kolaylıkları nedeniyle yaşıntımızda kalıcı yer edinen elektrikli cihazlar ve haberleşme araçları faydaları yanında zararlı etkilere de sahiptir. Bütün bu cihazlar elektromanyetik kirlilik kaynağıdır ve bu kirlilik artık hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. Elektromanyetik kirlilik ile ülkemiz ilk kez yüksek gerilim hatlarıyla tanışmıştır. 1990' lı yıllarda ise özel radyo ve televizyonlara yayın izni verilmesiyle süreç devam etmiştir. Cep telefonlarının kullanıma başlamasıyla birlikte baz istasyonlarının kurulması, elektromanyetik alan kirliliğinin daha riskli bir seviyeye ulaşması, insanların dikkatini çekmeye başlamıştır. Günümüzde ise 3. nesil (3G) cep telefonları için görüntü kalitesi ve erişim hızını artırmak amacıyla sayıları hızla artan yeni nesil ve çok daha kapsamlı baz istasyonlarının kuruluyor olması elektromanyetik kirlilik boyutunun çok fazla artacağı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Elektromanyetik kirliliğin gözle görülemeyişi, etkisinin çoğu zaman doğrudan hissedilemeyişi ve sağlık etkilerinin uzun zaman dilimi içerisinde görülmesi gibi nedenler bu yeni tür kirliliğin insanlar tarafından yeterince dikkate alınmamasına neden olmaktadır [1].

Elektrik enerjisiyle çalışan her cihazın çevresinde bir elektromanyetik alan oluşturduğu bilinmektedir. Bu elektromanyetik alan içerisinde kalan diğer elektromanyetik kaynaklar bundan olumlu veya olumsuz etkilenebilmektedir. İnsan vücudu da bunlardan bir tanesidir. İnsan vücudu ortalama 50000 km uzunluğu olan ve yaklaşık 25 milyar nörondan oluşan elektriksel iletim yapan bir sinir ağına sahiptir. Bilginin iletilmesi, saklanması, etkinin ve tepkinin organlar arasında taşınması bu sistem aracılığıyla olur. Bu elektrikli sisteminde kendine has bir elektromanyetik yapısı vardır. Dolayısıyla bu sistemin dıştan gelen elektromanyetik alanlardan olumlu veya olumsuz etkilenebileceği ihmal edilemez. Elektromanyetik alanların biyolojik sistemler üzerinde etkilerini incelemek amacıyla Tıbbi Bilişim ve İstatistik Ana Bilim Dalı, Biyomedikal Mühendisliği, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Biyofizik Ana Bilim Dalı ve Biyoelektromanyetik Ana Bilim Dalı gibi farklı disiplinler bir araya gelerek bu etkileri incelemektedir [2].

Elektromanyetik alanların insanlar üzerinde olumsuz etkisi olduğu düşüncesine sahip olmak gibi, herhangi bir etkisi olmadığı düşüncesine sahip olmakta hatalıdır. Zira yapılan bir çalışmada telefonların oluşturduğu elektromanyetik (EM) alanın kobay EKG' si üzerine olan etkileri araştırılmış, çalışma sonucunda cep telefonlarının oluşturduğu EM alanın kobay EKG bulguları üzerinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür [3]. Diğer taraftan, başka bir çalışmada 900 Mhz elektromanyetik alan EKG üzerinde bilenen bir etkisi olmasa da bazı hormonlar üzerinde etkileri tespit edilmiştir [4].

Elektromanyetik alanların sürekli etkisi elektromanyetik kirlilik kavramının tanımlanmasıdır. Elektromanyetik alanların canlılar üzerindeki uzun vadede etkileri tam olarak bilinmemektedir, bu sebeple araştırmalar devam etmektedir [2]. Bu amaç doğrultusunda, 2008 yılında Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi' nin elektromanyetik alan haritasını çıkarmak ve hastanede elektromanyetik alan bulunan yerlerde çalışanların sağlık durumlarını belirlemek amacıyla çalışma yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir [5]. Başka bir çalışmada ise Polat, Karaman İli Şehir Merkezi ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesi' nin Elektromanyetik Kirlilik Haritasını çıkarmış ve durum değerlendirmesi yapmıştır [2].

Bu tez çalışmasında, elektromanyetik alan haritasının çıkartılması için Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi kullanılmıştır. Büyükşehir statüsünde olan Balıkesir ili, iki merkez ilçeden oluşmaktadır. Konum, sanayi ve turizm olanakları sayesinde sürekli gelişmektedir. Diğer taraftan Balıkesir – Bigadiç karayolunun 17. Km' sinde Çağış ve Paşaköy sınırları içinde 5.000 dönümlük bir alan üzerine kurulmuş [6] Balıkesir Üniversitesi' nin üzerinde bulunduğu Çağış Yerleşkesi de, Balıkesir ili için önemli bir kuvvet çarpanıdır. Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nin elektromanyetik alan haritasının çıkartılması, gerek şehir ve üniversitenin tanıtımında, gerekse şehir merkezinde yaşayan halk ve üniversitede okuyan öğretmen, öğrenci, görevlilerin yaşam alanlarındaki elektromanyetik kirlilik konusunda bilgilendirilmelerinde önemli bir yer tutmaktadır.

Elektromanyetik alan haritalarının oluşturulması ve incelenmesinden önce, elektrik alan, manyetik alan, elektromanyetik alan, iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon konularında temel tanımlamalar verilmiştir.

Tanımlamalardan sonra, elektromanyetik alanların insan sağlığı açısından değerlendirmesi yapılmış, belirlenmiş ulusal ve uluslararası sınır değerlerinden bahsedilmiştir. Doğada farklı frekanslarda birçok elektromanyetik alan mevcuttur. Bu tez çalışmasında ise genel olarak haberleşme sistemlerinden kaynaklı oluşan 100 KHz –3 GHz frekans aralığına sahip olan elektromanyetik kirlilik incelenmiştir. 100 KHz –3 GHz frekans aralığında elektromanyetik alan oluşturan cihazlardan örnekler verilmiş ve özgül emilim oranı (SAR) hakkında bilgi verilmiştir. Günlük hayatta kullanılan bazı cihazların SAR değerlerinden bahsedilmiştir. 100 KHz – 3 GHz frekans aralığı dışında elektromanyetik alan kaynaklarına da değinilmiştir. Elektromanyetik alanların biyolojik sistemler üzerinde araştırılmış etkilerinden ve tedbir amaçlı alınabilecek önlemlerden bahsedilmiştir.

Ölüm ve harita oluşturma aşamasında, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından onaylanmış cihazlar kullanılarak, 100 KHz – 3 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik dalgaların elektrik alan ölümü değerleri ile elektromanyetik alan haritası oluşturulması amaçlanmıştır. Bu ölümlerde, 2 gün sresinde şehir merkezi ve niversite içerisinde toplam 190 km yol kat edilerek drive test yöntemi [7] ile 13927 değer alınmıştır. Bu alınan değerler ile elektromanyetik alan haritaları oluşturulmuştur. Bu haritada, düşük elektrik alan değerleri mavi renkte, yüksek elektrik alan değerleri kırmızı renkte gösterilmiştir. Böylece tematik bir harita oluşturularak kamuoyu tarafından anlaşılabilmesi kolaylaştırılmıştır.

Son bölümde ise, elde edilen sonuçlar ile ilgili kısa bir değerlendirme yapılmış, ardından elektromanyetik alanların olası zararlı etkilerine karşı devlet kurum ve kuruluşları düzeyinde , ayrıca bireysel olarak alınabilecek önlemlerden bahsedilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Canlı yapılar üzerinde etkisi olduğu düşünölen elektromanyetik alanlar hakkında, birçok araştırmaya yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Ülkemizde ve dünyada bazı bölgelerin elektromanyetik kirlilik veya elektromanyetik alan haritaları çıkartılmıştır. Günümüzde elektromanyetik alanların muhtemel etkileri çeşitli yöntemler ile araştırılmaya devam edilmektedir. Bunlar; deneysel çalışmalar, yapay doku çalışmaları, bilgisayar simölasyonları, anket çalışmaları ve gönüllü deney çalışmaları olarak söylenebilir [8].

Elhasoğlu tarafından yapılan çalışmada, elektromanyetik alanlara uzun süre maruz kalan kişilerin sağlık problemlerini saptamak amacı ile 11 soruluk bir anket hazırlanmış ve yüksek gerilim hatlarına yakın ve uzak oturan 93 aileden 265 kişiye anket uygulanmıştır. Değerlendirme neticesinde yüksek gerilim hatlarına 30 metreye kadar yakın oturanlarla daha uzakta oturan kişiler arasında; baş ağrısı, eklem ağrısı, sinirsel rahatsızlıklar, kalp rahatsızlığı, üst solunum yolu enfeksiyonları, tansiyon rahatsızlığı ve uyku bozuklukları arasında farklılık olup olmadığı, yaş ve oturma süresi betimsel değişkenlerine göre değerlendirilerek istatistiksel oranlar incelenmiştir. Analizler sonucunda bazı rahatsızlıkların oluşumunda yüksek gerilim hatlarından yayılan EMA' nın etkili olabileceği sonucuna ulaşılmıştır [9].

Amerika' da, geniş coğrafi alanlardaki elektromanyetik alan kirliliğini hesaplayabilmek amacıyla bir ölçüm sistemi kurmuş ve değerlendirmeler yapılmıştır [10].

Luca Paolino ve arkadaşları 2001 yılında GPS destekli görsel yaklaşım ile İtalya' da elektromanyetik kirliliğin gözlemlenmesi çalışmasını yapmışlardır [11].

Paksoy tarafından yapılan tez çalışmasında, EM alanların gerek biyolojik, gerekse elektrikli ve elektronik aletler üzerindeki etkileri ve bunları minimuma indirme yolları, ayrıca ekranlama ve elektromanyetik dinleme konuları incelenmiştir. EM radyasyonun olumsuz etkilerinden korunmak için alınması gereken bazı tedbirler önerilmiştir [12].

Elektromanyetik alanların sadece ısı etkisinin olmadığı, bunun yanında yüksek frekanslı dalgaların doku ve hücreleri üzerinde titreşim olarak bir etkisinin de olduğu yönünde araştırmalar devam etmektedir [2].

Elektromanyetik alana maruz kalmanın canlılara etkisi yönünden kaygıları ve belirsizlikleri anlamada bilimsel bir katkı sağlayabilecek bulgular Önal tarafından yapılan tez çalışmasında ortaya konmuştur [13].

Yapay doku çalışmaları ile insan dokularına yakın dokular laboratuvar ortamın oluşturularak, elektromanyetik alanların etkileri araştırılmaktadır. Cep telefonlarının kafa ve beyin üzerindeki ısı artışındaki etkilerini araştırma amaçlı çalışmalar yapılmıştır [2].

Henderson ve Bangay, Avusturya’ da RF elektromanyetik alan şiddeti seviyesini gözlemlemişler, ayrıca farklı sinyallere sahip 60 baz istasyonu üzerinde incelemeler yapmışlardır. Elde ettikleri değerleri ICNIRP standartlarıyla karşılaştırmışlardır [14].

İlhan tarafından 2008 yılında, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Gazi Hastanesi’nde yapılan çalışmada, hastanenin elektromanyetik kirlilik haritası çıkartılmış ve bu haritaya göre çalışanların sağlık durumu incelenmiştir [5].

Özgümüş yaptığı çalışmada, dinamik ölçüm yöntemi kullanılarak, Zonguldak kent merkezinin 100 kHz – 3 GHz RF bölgesinde elektromanyetik (EM) kirliliği araştırmıştır. 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 sunularak, Zonguldak kent merkezi için EM kirlilik haritası oluşturulmuştur. Ölçülen değerler, ulusal ve uluslararası EMR maruziyet limit değerleri ile karşılaştırmıştır [15].

Durduran ve Uygunol tarafından Konya’ da yapılan çalışmada, GSM baz istasyonlarının Coğrafi Bilgi Sistemi ile Elektromanyetik Alan kirliliği haritasının oluşturulmuştur. Böylece, az, orta, çok kirlilikteki alanlar belirlenip gelecekte bu alanlarda uygulanacak önlem çalışmalarının alt yapısının oluşturulması amaçlanmıştır [16].

Cansız, 2010 yılında Diyarbakır İl merkezinin elektromanyetik alan haritasının çıkarılması ve durum değerlendirilmesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında, yüksek ve düşük frekans kaynaklı elektrik ve manyetik alan ölçümleri yapmış ve sonuçlarını haritalandırmıştır. Çıkan değerleri ICNIRP’ nin belirlemiş olduğu limit değerleri ile karşılaştırmıştır [17].

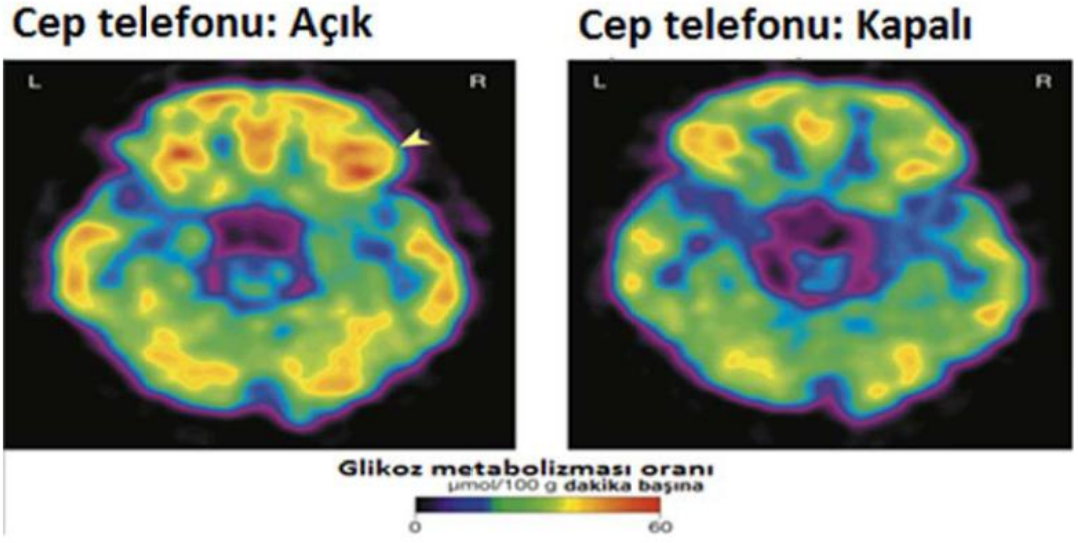
Sorgucu, 2011 yılında yaptığı çalışmasında, Erciyes Üniversitesi Kampüsü’ nün GSM900 ve GSM1800 şebekelerinin oluşturduğu elektromanyetik kirliliğin ölçülmesi ve değerlendirmesini yapmıştır [18].

Arslantaş tarafından 2012 yılında, elektromanyetik alan şiddetinin okul ve sağlık kuruluşları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bir tez çalışması yapılmıştır [19].

İnce tarafından, Ankara ilinde radyo ve TV vericileri ile baz istasyonlarının bulunduğu bölgelerde 100 kHz - 3 GHz frekans bölgesinde çalışan EMR 300 cihazıyla ölçümler yapılmış ve Ankara ili üzerinde oluşan ortam hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Ölçümler sonucunda radyo ve TV vericilerinin yoğun olarak bulunduğu bölgelerde elektromanyetik alan değerleri normal yaşam alanlarında ölçülen değerlerden yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada elektromanyetik alanlara karşı korunma yolları ve alınacak önlemlerden de bahsedilmiştir [20].

Nora ve arkadaşları, cep telefonu maruziyetinin beyin glikoz metabolizması üzerindeki etkisini beyin aktivitelerini gözlemleyerek bulmayı amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda yaptıkları çalışmada, 57 gönüllünün sağ ve sol kulak hizasına iki cep telefonu koyulmuş, gönüllü deneklere beyin glikoz miktarlarını ölçmek için fluorodeksiglukoz aşılanmıştır. Birinci safhada 50 dakika süreyle bir cep telefonu,

ikinci sayfada ise her iki cep telefonu aktif duruma getirilerek ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.1: Orbitofrontal korteks seviyesinde yatay beyin glikoz metabolizması görüntüsü

Şekil 2.1’ de cep telefonuna aktif maruz kalan deneğin (sol resimdeki) beyin glikoz metabolizması, cep telefonu pasif olan duruma göre hareketlilik göstermektedir. Sonuç kısmında bu etkilerin zararlı olup olmadığı konusunda araştırmaların devam etmesi gerektiği vurgulanmıştır [21].

3. TEMEL ELEKTROMANYETİK KAVRAMLAR

Prize takılı bir cihaz kapalı iken elektrik alan yaymaktadır, cihaz açılması ile elektrik akımı başlamakta böylece manyetik alan oluşturmaktadır. Bu iki kavram elektromanyetik olarak tanımlanmaktadır. Uçurtma deneyi [37] ile başlayan elektrik deneyimi, hayatımızı kuşatmıştır. Günlük hayatta kullandığımız ve hayatımızın olmazsa olmazları olarak görülen cep telefonu, TV, bilgisayar vb. ileri teknoloji ürünü cihazlar elektrik enerjisi ile çalışmakta, bu sebeple belirli frekanslarda elektromanyetik dalga yaymaktadırlar. Bu bağlamda, kullandığımız bütün elektrikli cihazlar belirli frekanslarda elektromanyetik dalga yayarlar. Günümüz teknolojilerinden AM-FM radyolar, TV yayınları, kablosuz modemler, fareler, klavyeler, elektrikli aletler, sürekli hayatımızda olan cep telefonları, fırınlar, mikserler kısaca elektrik enerjisiyle çalışan bütün cihazların oluşturduğu elektromanyetik alanlar, ayrıca kullanılan bu aletlerin bağlantılı olduğu enerji iletim hatları, trafolar, baz istasyonları vb. ünitelerin oluşturduğu elektromanyetik alanlar toplamı elektromanyetik kirliliği oluşturmaktadır [2].

3.1 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 [15].

3.1.1 Elektrik Alan

Joseph Priestley' in elektrik üzerine çalışmaları geliştiren Charles Coulomb; elektriksel iki yük arasındaki bir kuvvet oluştuğunu, bu kuvvetin yüklerin büyüklüklerinin çarpımıyla doğru orantılı ve yüklerin aralarındaki mesafenin karesi ile ters orantılı olduğu keşfetmiştir [2]. Bu ilişkiyi

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (3.1)$$

eşitliği ile ifade etmiştir. q_1 ve q_2 yüklü parçacıkları, r yükler arasındaki mesafeyi ve “ k ” Coulomb sabitini ifade eder. Coulomb sabiti (3.2) eşitliğiyle bulunur [2].

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9875 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}}{\text{C}^2} \quad (3.2)$$

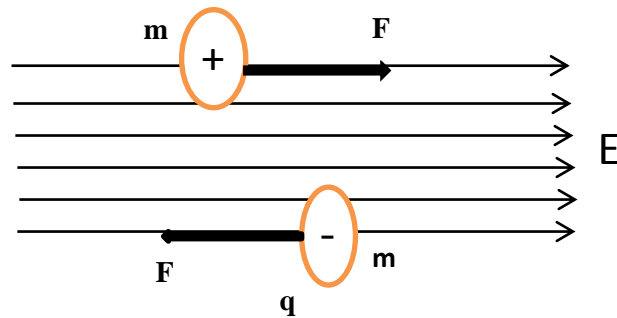
ϵ_0 uzayın elektrik geçirgenliği veya dielektrik sabitidir. Boşluk veya uzay için geçirgenlik sabitinin değeri $8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$ ‘dir [2].

Bir noktaya konulmuş pozitif veya negatif yüklü bir cismi etkileyen elektriksel bir kuvvet var ise bu noktada elektrik alan var denilir. Elektrik alan büyüklüğü ve doğrultusu olan vektörel bir değerdir. Elektrik alan şiddetinin birimi volt/metre (V/m) olarak ifade edilir. Bu alandaki elektrik alan büyüklüğünü bulurken (3.3) eşitliğinden yararlanılır [2].

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (3.3)$$

q_0 pozitif deneme yükünü, F deneme yükü üzerine etkileyen kuvveti ve E elektrik alan vektörünü temsil eder [2].

Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi elektrik alana bırakılan pozitif yüklü parçacık elektrik alanı ile aynı yönde hareket eder iken negatif yönlü parçacık ters yönde bir hareket izler [2].



Şekil 3.1: Elektrik alana bırakılan artı yüklü ve eksi yüklü parçacıkların hareketi

Kapalı bir yüzeyin dışına akan elektriksel akı ile yüzey içerisinde kalan elektriksel yük arasındaki bağıntı diferansiyel formda Gauss Yasası (3.4) eşitliği ile tanımlanır [2].

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (3.4)$$

Elektrik alan ile ortamın dielektrik sabitinin çarpımı ile elektrik akı yoğunluğu hesaplanır. Bu bağıntı (3.5) eşitliğinde verilmiştir [2].

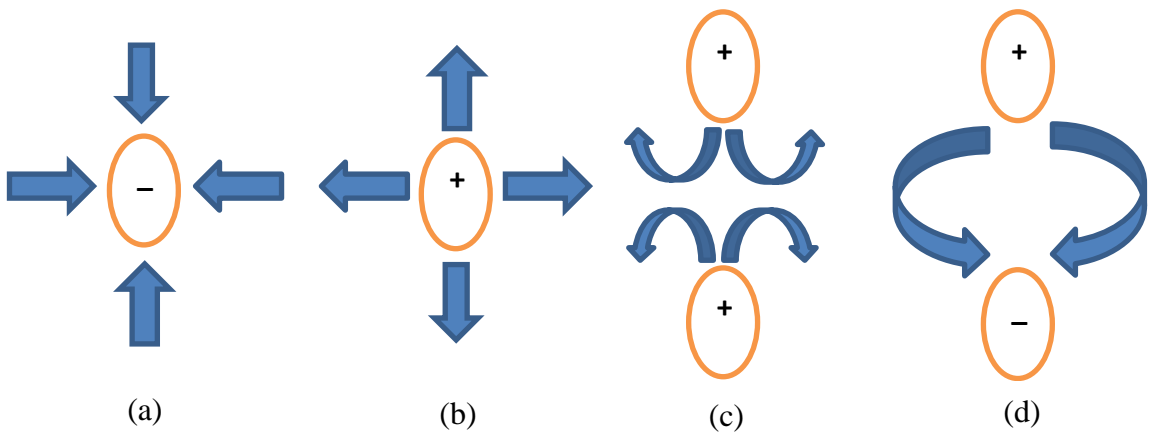
$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \frac{C}{m^2} \quad (3.5)$$

Elektriksel alanda bulunan iletken malzemelerde canlı doku veya cihazlarda elektriksel alan kuvvetinden kaynaklı olarak bir akım oluşur. Bu akım (3.6) eşitliği yardımıyla bulunur [2].

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (3.6)$$

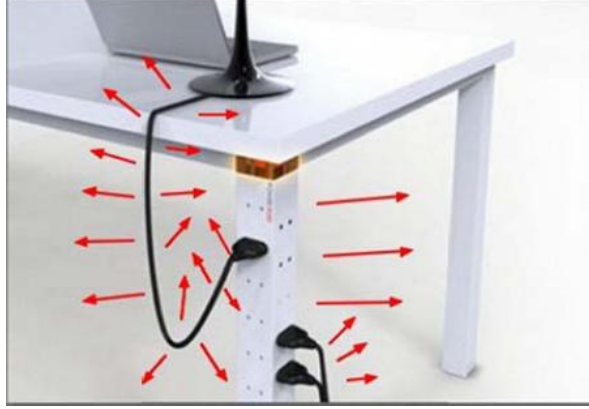
Burada \vec{J} akım yoğunluğunu, σ ortamın elektriksel iletkenliğini göstermektedir [2].

Elektrik alan çizgileri artı yüklü cisimlerden eksi yüklü cisimlere doğru olmaktadır. Tek başına bir eksi yüklü cisim için elektrik alan çizgileri çizerken sonsuzdan gelen ve eksi yüklü cisme yönelen oklar ile temsil edilmektedir. Tek başına artı yüklü bir cisim için elektrik alan çizgilerini oluştururken cisimden başlayarak sonsuza giden ışınlar kullanılmaktadır [2]. Şekil 3.2' de bazı elektrik alan çizimleri verilmiştir.



Şekil 3.2: a) Eksi yüklü cismin elektrik alan çizgileri b) Artı yüklü cismin elektrik alan çizgileri c) Aynı yüklü cisimlerin elektrik alan çizgileri d) Farklı yüklü cisimlerin elektrik alan çizgileri

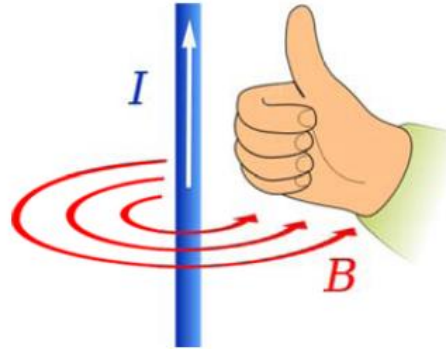
Üzerinde yük barındıran cisimler elektrik alan yayarlar. Buna örnek olarak prize bağlı ancak çalışmayan elektrikli cihazlar çevrelerinde Şekil 3.3’ de gösterildiği şekilde elektrik alan oluştururlar [2].



Şekil 3.3: Pasif durumdaki bir elektrikli cihazın yaydığı elektrik alan

3.1.2 Manyetik Alan

Manyetik alan, hareket eden elektrik yükleri tarafından meydana getirilir. Manyetik alan, elektrik alan gibi vektörel bir büyüklüktür. Akım taşıyan bir iletkenin etrafında oluşturduğu manyetik alan Şekil 3.4’ te gösterildiği gibi sağ el kuralı ile bulunur [2].



Şekil 3.4: Sağ el kuralı ile manyetik alan yönünün bulunması

1826 yılında Andre-Marie Ampere tarafından kapalı bir eğri üzerinden integrali alınmış bir manyetik alan ile o eğri üzerindeki elektrik akımı arasındaki ilişkiyi (3.7) eşitliği ile açıklamıştır [2].

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc} \quad (3.7)$$

\oint kapalı C eğrisi üzerinden alınan çizgi integralini, B manyetik akı yoğunluğunu dl sonsuz küçüklükteki elemanı, μ_0 manyetik sabitini ve I_{enc} ile kapatılan alandan geçen akımı göstermektedir [2].

\vec{v} hızı ile hareket eden q birim yüklü parçacığın B manyetik akı yoğunluğunda üzerinde oluşan manyetik kuvvet (3.8) eşitliği ile gösterilmiştir [2].

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (3.8)$$

Manyetik akı yoğunluğu Weber/m², Gauss veya Tesla birimleri ile ölçeklenmektedir. Bu büyüklüklerin birbirine denkliği (3.9) eşitliğiyle belirtilmiştir [2].

$$10^4 \text{ Gauss} = 1 \text{ Tesla} = 1 \text{ Weber/m}^2 \quad (3.9)$$

Manyetik akı yoğunluğunun (B), manyetik alan şiddeti (H) ile bulunması (3.10) eşitliğinde verilmiştir [2].

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \text{ Weber/m}^2 \quad (3.10)$$

Burada μ manyetik geçirgenlik katsayısıdır. Birçok biyolojik maddede manyetik geçirgenlik katsayısı havanın manyetik geçirgenlik katsayısı μ_0 ' a eşittir [2].

3.1.3 Elektromanyetik Alan

Elektrik ve manyetik alanları arasındaki ilişkiyi Maxwell Denklemleri olarak bilinen 4 yalın denklem ile açıklanmıştır. Bu dört denklem elektromanyetik dalgaların tüm özelliklerini eksiksiz olarak açıklar. Maxwell denklemleri de şu iki temel kurala dayanmaktadır [2].

1. Zamana göre değişen manyetik alan bir elektrik alanı yaratmaktadır.
2. Zamana göre değişen elektrik alanı bir manyetik alan yaratmaktadır.

Maxwell dalga denklemleri, elektromanyetik dalganın iki bileşeni olan E elektriksel alanı ve H manyetik alanı arasındaki bağıntıları şöyle göstermektedir:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (3.11)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3.12)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3.13)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (3.14)$$

Zaman göre değişen kaynakların oluşturduğu bu elektrik ve manyetik alanlar dalga halinde belirli bir enerji yaymaktadır. Bu şekilde yayılan elektriksel enerjiye elektromanyetik dalga yayılması veya elektromanyetik ışıma denmektedir [2].

3.1.4 Doğal Elektromanyetik Alanlar

İnsan etkisi bulunmadan doğada bulunan elektromanyetik alanlar doğal elektromanyetik alanlar olarak tanımlanır [2]. Güneş sistemimizde gezegenden gezegene değişen doğal bir elektromanyetik ortam vardır. Üzerinde yaşadığımız mavi gezegenin yerküre merkezindeki yarı sıvı ferro manyetik çekirdek sürekli statik jeomanyetik alan yaymaktadır. Bizler diğer canlılarla birlikte 40 μ T değerlerinde elektromanyetik alan yayan dev bir mıknatısın üzerinde yaşam sürmekteyiz. Bulutlu havalarda yıldırım oluşurken elektrik alan çok kısa surede 40kV/m ye kadar yükselebilmektedir. Güneşten dünyamıza çarpan elektromanyetik radyasyon her saniyede metrekare başına 1400 Joule enerji vermektedir [1].

Güneşte veya uzak yıldızlarda oluşan x-ışınları veya gama ışınları gibi iyonlaştırıcı elektromanyetik dalgalar dünyayı saran atmosfer tabakasını geçemeyerek yeryüzüne ulaşamamaktadır [2].

3.1.5 Yapay Elektromanyetik Alanlar

İnsan etkisi ile oluşan elektromanyetik alanlar, yapay elektromanyetik alanlar olarak tanımlanır. Elektrik enerjisi ile çalışan veya elektrik enerjisini aktaran cihazlar yapay elektromanyetik alan kaynağı sayılmaktadır. Elektrik enerjisi taşıyan yer altı ve yer üstü kabloları, TV ve bilgisayar ekranları, elektrikli ev aletleri (elektrikli süpürge, saç kurutma makinesi, traş makinesi vb.), mikro dalga fırınlar, radyo ve TV vericileri, telsiz haberleşme sistemleri, hücreli haberleşme sistemleri ve gün içerisinde sürekli yanımızda bulduğumuz cep telefonları günlük hayatta maruz kaldığımız elektromanyetik dalgaların başlıca kaynaklarıdır [2].

Günlük yaşamımızda çoğu kere elektrik cihazların yanında uzun süre kalmakla ya da yüksek gerilim hattının altında bulunmakla geçiririz. Belki de durakta beklerken tam karşımızda bir ağaç yada heykel, reklam panosu içine kamufle edilmiş şekilde bir baz istasyonu antenleri tarafından farkına varmadan yapay elektromanyetik alanların etkisi altında kalmaktayız [1].

3.2 Elektromanyetik Radyasyon

Elektromanyetik ışınım, elektromanyetik dalga ya da elektromıknatısal ışın bir vakum veya maddede kendi kendine yayılan dalgalar formunu alan bir olgudur. Elektromanyetik radyasyon, elektromanyetik enerjinin yayılımını ifade eder. Elektromanyetik radyasyon ikiye ayrılarak; madde içine nüfuz ettikten sonra iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan olarak tanımlanmıştır [2].

Dalga boylarına bağlı olarak elektromanyetik alanların ışıma özellikleri değişmektedir. Elektromanyetik alanların dalga boyları ile frekansları arasındaki ilişki (3.15) eşitliğinde sunulmuştur. Frekans arttıkça dalga boyu küçülmektedir [2].

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ (m)} \quad (3.15)$$

Belirli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin bu dalga boyu ile orantılı bir frekansı ve foton enerjisi bulunmaktadır. Bu bağıntı (3.16) eşitliği ile gösterilmiştir [2].

$$E = \frac{hc}{\lambda} \text{ (eV)} \quad (3.16)$$

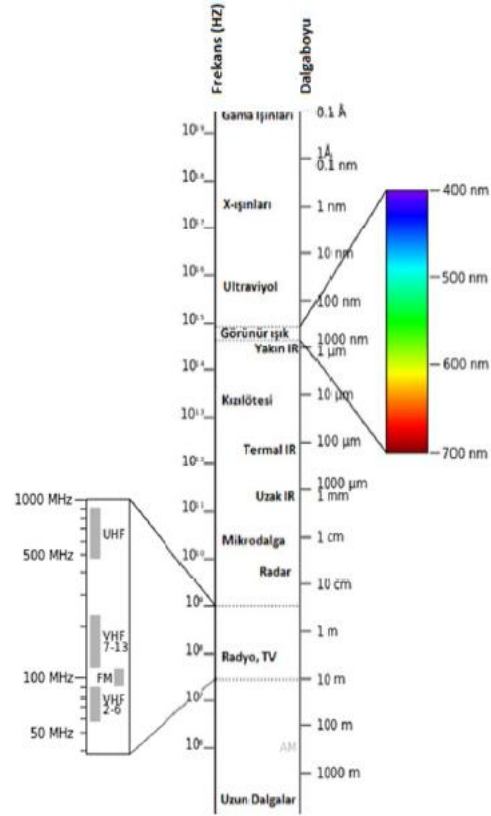
Burada h , yaklaşık değeri 6.62607×10^{-34} olan planck sabitidir ve c değeri 299792458 m/s olan ışık hızını göstermektedir [2].

(3.16) eşitliğine göre kısa dalga boyuna sahip dalgalar yüksek frekans ve yüksek enerjiye, uzun dalga boyuna sahip dalgalar düşük frekans ve düşük enerjiye sahiptirler. Bu bağıntıdan faydalanarak elektromanyetik tayfta isimlendirilen dalgalar Tablo 3.1' de [22] sınıf, frekans, dalgaboyu ve enerji seviyesine göre sunulmuştur [2].

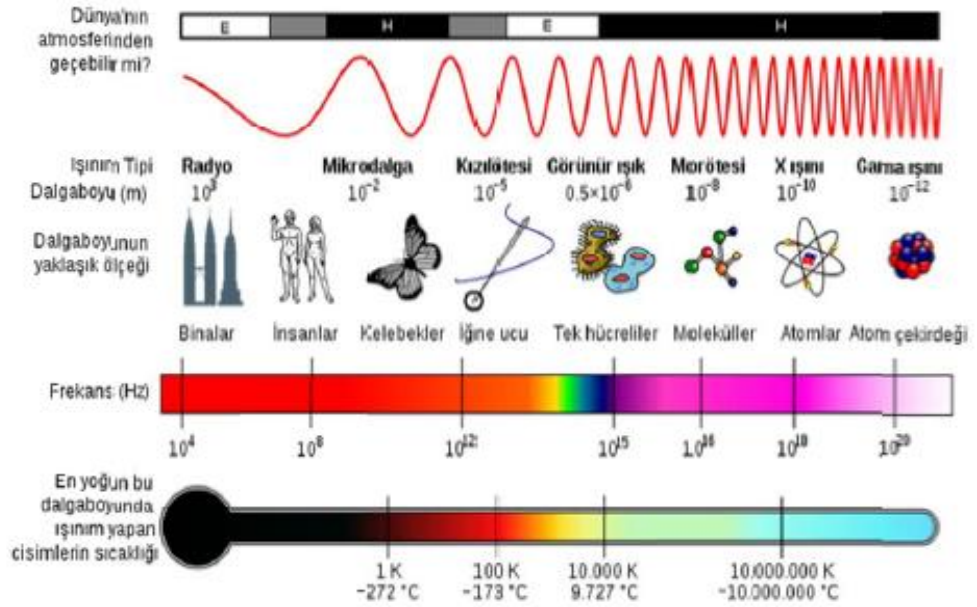
Tablo 3.1: Elektromanyetik tayfin frekans sınıfına göre dalgaboyu ve enerji değerleri

Sınıf	Frekans (f)	Dalgaboyu (λ)	Enerji (E)	Açıklama
Y	300 EHz – 30 EHz	1 pm – 10 pm	1.24 MeV – 124 keV	Gama ışınları
HX	30 EHz – 3 EHz	10 pm – 100 pm	124 keV – 12.4 keV	Sert X-ışınları
SX	3 EHz – 30 PHz	100 pm – 10 nm	12.4 keV – 124 eV	Yumuşak X-ışınları
EUV	30 PHz – 3 PHz	10 nm – 100 nm	124 eV – 12.4 eV	Uzak morötesi
NUV	3 PHz – 300 THz	100 nm – 1 μ m	12.4 eV – 1.24 eV	Yakın morötesi
VIS				Görünür ışık
NIR	300 THz – 30 THz	1 μ m – 10 μ m	1.24 eV – 124 meV	Yakın kızılötesi
MIR	30 THz – 3 THz	10 μ m - 100 μ m	124 meV – 12.4 meV	Orta kızılötesi
FIR	3 THz – 300 GHz	100 μ m – 1 mm	12.4 meV – 1.24 meV	Uzak kızılötesi
EHF	300 GHz – 30 GHz	1 mm – 1 cm	1.24 meV – 124 μ eV	Aşırı yüksek frekans
SHF	30 GHz – 3 GHz	1 cm – 1 dm	124 μ eV – 12.4 μ eV	Süper yüksek frekans
UHF	3 GHz – 300 MHz	1 dm – 1 m	12.4 μ eV – 1.24 μ eV	Ultra yüksek frekans
VHF	300 MHz – 30 MHz	1 m – 10 m	1.24 μ eV – 124 neV	Çok yüksek frekans
HF	30 MHz – 3 MHz	10 m – 100 m	124 neV – 12.4 neV	Yüksek frekans
MF	3 MHz – 300 kHz	100 m – 1 km	12.4 neV – 1.24 neV	Orta frekans
LF	300 kHz – 30 kHz	1 km – 10 km	1.24 neV – 124 peV	Alçak frekans
VLF	30 kHz – 3 kHz	10 km – 100 km	124 peV – 12.4 peV	Çok alçak frekans
VF/ULF	3 kHz – 300 Hz	100 km – 1 Mm	12.4 peV – 1.24 peV	Ses frekansı
SLF	300 Hz – 30 Hz	1 Mm – 10 Mm	1.24 peV – 124 feV	Süper alçak frekans
ELF	30 Hz – 3 Hz	10 Mm – 100 Mm	124 feV – 12.4 feV	Aşırı alçak frekans

Elektromanyetik dalgalar, frekanslarına göre sınıflandırılmakta ve bölgelerine göre özel isimlerle tanımlanmaktadır. Bu sınıflandırma elektromanyetik tayf olarak adlandırılır ve Şekil 3.5' te [22] gösterildiği şekildedir. Elektromanyetik tayfta bulunan dalga boylarının yaklaşık büyüklüğü Şekil 3.6' da verilmiştir [2]. İlgili şekillerden de anlaşılacağı üzere, tüm elektromanyetik dalgaları bir arada gösteren elektromanyetik spektrumun bir ucunda yüksek enerjili ve nanometre düzeyinde dalga boyu olan gama ışınları yer alırken diğer ucunda düşük enerjili ve kilometreler düzeyinde dalga boyu olan çok düşük frekanslı ışınlar yer alır [1].



Şekil 3.5: Elektromanyetik tayf



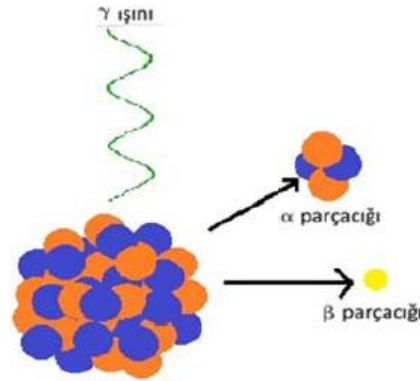
Şekil 3.6: Elektromanyetik tayf'ta atmosferden geçebilen ve geçemeyen dalgaların frekans ve dalga boyuna göre gösterilmesi

3.2.1 İyonlaştırıcı Radyasyon

Bir atom veya molekülün elektron alarak veya vererek, artı veya eksi iyonla dönüşme sürecine iyonlaşma denir. Atomdaki elektronu, onu kısıtlayan elektriksel gerilimden kurtulmasını sağlayacak enerjiyi sağlayan elektromanyetik dış kaynağı iyonlaştırıcı radyasyon olarak tanımlanır. İyonlaştırıcı radyasyon, iyonlaşabilen atomlardan veya iyonlaşabilen moleküllerden elektron koparmak için yeterli enerji taşıyan bir elektromanyetik radyasyon türüdür [2].

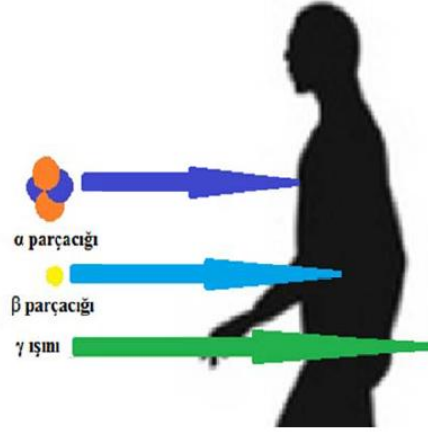
İyonlaştırıcı olanlar X ve gamma ışınlarıdır ve sağlığa olumsuz etkileri olduğu kanıtlanmış durumdadır [1]. Dalga boyları 10 nm' dan daha küçük elektromanyetik dalgalar yüksek seviyede enerji taşımaktadır. 10 nm – 10 pm arası dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar X-ışınları olarak isimlendirilmiştir. Bu yüksek enerjili dalgalar nüfus ettikleri herhangi bir canlı veya cansız yapıdan iyon koparabilirler, bu sebeple iyonlaştırıcı radyasyon olarak isimlendirilmişlerdir [2].

Elektromanyetik tayfta sınıflandırılmış diğer elektromanyetik dalgalar ise 1 pm – 10 pm dalga boyuna sahip gama ışınlarıdır. Gama ışınları, Şekil 3.7' de gösterildiği gibi ortaya çıkmaktadır ve 10^3 eV' lardan 10^6 eV' lara kadar enerji taşıyabilmektedir [2].



Şekil 3.7: Gama ışınımı

Şekil 3.8' de iyonlaştırıcı radyasyon sınıfında yer alan gama ışını, alfa ve beta parçacıklarının insan bedenine nüfuz etme miktarı gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Alfa (α), beta (β), parçacıkları ve gama (γ) ışınının insan bedenine nüfuz etme oranları

Radyasyon etkisi altında kalan maddenin birim kütlesi başına düşen emilen enerji radyasyon emilim dozu olarak tanımlanır. Bu emilim miktarı radyasyon yolu ile gelen enerjinin maddeye verdiği zarar ile hesaplanır. Bu zarar, maddenin 1 kilogramını 1 coulomb yük ile şarj etmek için gerekli miktardır ve SI birim sisteminde C/kg olarak ölçeklenir [2].

İyonlaştırıcı radyasyon canlı dokulara, taşıyarak aktardığı enerji ile zarar vermektedir. Bu hasara sebep olan enerjiye absorpsiyon (emilim) dozu denmektedir. Enerji emilim dozu birimi olarak SI birim sisteminde Gray (Gy) kullanılır ve maddenin bir kilogramının enerjisini bir joule arttıran büyüklük olarak tanımlanır [2].

Uluslararası Radyoloji Korunma komisyonu (ICRP – International Commission on Radiological Protection) iyonlaştırıcı radyasyon altınca çalışanlar için haftalık en fazla alınabilecek emilim miktarını 100 mGy olarak belirtmiştir [2].

İyonlaştırıcı radyasyonun canlı yapılar için en büyük tehlikesi DNA (Deoksirionükleik asit) yapısı parçalaması veya değiştirmesidir [2].

3.2.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

Taşıdığı enerji madde veya dokudan elektron koparmaya yetmeyecek kadar düşük olan elektromanyetik dalgalar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak sınıflandırılmıştır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon elektromanyetik tayfta dalga

boyu 100 nm' den daha uzun, enerjisi 12 eV' dan daha düşük ve 300 THz' den daha düşük frekansa sahip elektromanyetik dalgalarıdır [23].

100 kHz – 10 GHz frekans aralığında bulunan iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun canlı dokular üzerindeki ısı etkileri özgül emilim oranı (SAR – specific absorption rate) ile değerlendirilmektedir. Birimi doku başına emilen güç miktarı olarak tanımlanmıştır ve SI birim sisteminde W/kg olarak ölçülmüştür [2].

3.2.3 Soğurma Özellikleri

Malzeme özellikleri; elektrik alanları vücudu meydana getiren doku malzemeleri üzerinde üç temel prensiple enerjiyi transfer ederler [17].

1. Elektrik alanları herhangi bir atomun serbest elektronlarına kinetik enerji verir.

2. Elektrik alanları atom ve moleküllerdeki elektrik dipollere etki eder. Polarizasyon olarak isimlendirilen bu olaya ilişkin sürtünme nedeniyle doku malzemelerinde ısı oluşur.

3. Elektrik alanları, malzemede daha önce mevcut dipolleri bir araya getirir. Bununla birlikte oluşan sürtünme malzemeye enerji transfer eder.

Kayıp mekanizması olarak isimlendirilen bu üç tip enerji transfer işlemi, doku malzemelerinin dielektrik ve iletken özelliklerine bağlı olarak açıklanabilir. Zamanla sinüzoidal olarak değişen elektromanyetik alanlar dielektriğin kompleks değere sahip olması ve kayıp mekanizmasının anlaşılmasını sağlar [17]. Kompleks dielektrik,

$$\varepsilon = \varepsilon_0(\varepsilon' - j\varepsilon'') \quad (3.17)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada ε_0 boşluğun dielektrik sabiti, ε' bağıl dielektrik sabitinin reel kısmı, ε'' de sanal kısmı ve $j=(-1)^{1/2}$ dir. $\varepsilon''/\varepsilon'$ oranına kayıp tanjantı denir. İletkenlik,

$$\sigma = \omega \varepsilon_0 \varepsilon'' \quad (3.18)$$

Eşitliği ile ifade edilir. Burada ω açısal frekansı gösterir [17].

Soğrulma probleminin çözümünde verilen ortamın karakteristik empedansının, bilinen elektriksel parametreler cinsinden tanımlanması önemli bir başlangıç oluşturur. Vücut izotropik ve homojen olarak düşünüldüğünde vücut içindeki propagasyon sabiti ($\gamma = \alpha + j\beta$)'nin, faz sabiti β ve zayıflama sabiti; α aşağıdaki bağıntıdan bulunur [17].

$$\gamma = j\omega \sqrt{\mu_0 \varepsilon' \left(1 - j \left(\frac{\sigma}{\omega \varepsilon'} \right) \right)} \quad (3.19)$$

Bu değerlerden faydalanarak tek yönde ilerleyen bir düzlem dalga için ortamın Z empedansı (3.20) eşitliği ile ifade edilir [17].

$$Z = \frac{j\omega\mu_0}{\gamma} \quad (3.20)$$

3.2.4 Penetrasyon ve Frekans Özellikleri

Soğurulmanın frekansa bağlı olması dozimetrede önemli bir özelliktir. Kayıplı bir ortamda RFR' nin penetrasyon kalınlığı, frekansa ve dielektrik sabitinin çok önemli bir fonksiyonudur. Düşük frekanslı radyasyon, yüksek frekanslı radyasyona daha fazla nüfus eder. Dolayısıyla yüksek frekans radyasyonu sadece yüzey ısıtı oluşturur. Dielektriği düşük bir malzemede RF dalgası yüksek dielektrikli malzemeye göre daha fazla derine nüfuz eder. Cidar kalınlığı elektromanyetik alanların yüzeyindeki değerlerin e^{-1} (0,368) katına düşmesine karşı gelen kalınlık olarak tanımlanır. Bu değer soğrulan gücün yüzeydeki değerinin e^{-2} (0,135) katına düşmesine karşı gelir. Cidar kalınlığı ε' ve ε'' ye bağlı olduğu ve de frekans azaldıkça artması nedeniyle, frekans azaldıkça cidar kalınlığı (eğer dielektrik sabiti frekansa bağlı değilse) hızlı bir artış göstermez [17].

$$\delta \approx \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (3.21)$$

δ : Penetrasyon Derinliği (mm)

f : frekans (Hz)

μ : Manyetik Geçirgenlik (H/mm)

σ : Elektriksel İletkenlik (C^2/Nm^2)

Eşitlikten de anlaşılacağı üzere penetrasyon derinliği frekansın karekökü ile ters orantılıdır [17].

3.2.5 Polarizasyon

Dozimetrede elektromanyetik alan vektörlerin vücuda göre yönelmelerini gösteren polarizasyon önemli bir parametredir. Düzlem dalga alanlar için polarizasyon E, H, k vektörlerinin vücudun uzun eksenine paralel olması ile tanımlanır. Burada k yayılma yönündeki vektörü gösterir. Eğer gelen dalganın E elektrik alanı vücut eksenine paralel ise E polarizasyonu oluşur. Benzer şekilde H ve k polarizasyonlar vücut eksenine paralel kalmaları durumları dikkate alınarak tanımlanabilir [17].

Doğru akım (DC) ve çok düşük frekans alanlarının (Extremely Low Frequency - ELF) zamanla değişimleri çok yavaş olması nedeniyle hiç ışıınım yapmadıkları kabul edilir. Bu nedenle DC ve ELF alanları ile ilgili incelemeler non iyonize radyasyondan olduğundakinden farklıdır. Yüklerin ivmelenmesi elektromanyetik ışıına için gerekli şart olduğu için doğru akımda hiçbir çeşit radyasyon oluşmaz. Diğer bir değişle, düşük frekans alanlarına maruz kalan herhangi bir cisimde genellikle radyasyon etkileri görülmez. Akımın taşındığı herhangi bir durumda enerji E ve H alanlarında ışıına yapmaksızın depolanır. Canlı organizma statik (DC) alanlara ya da ışıınlamayan yakın alana maruz kaldığında, bu alanlardan enerji alır. Ancak bu enerjinin geçiş mekanizması daha yüksek frekanslardan çok farklıdır. Radyasyon vasıtasıyla enerji transferi dört maddede incelenir [17].

1. E ve H yakın alan büyüklükleri; elektrik sistemlerinden uzaklığın, akım veya yük dağılımının bir fonksiyonudur. E alanı, H'den çok daha büyük olabilir veya terside olabilir.

2. Işıma alanında E/H oranı boşlukta 377 olup sabittir. E(V/m), H(A/m) büyüklüğündedir.

3. Statik elektrik yükleri, doğru akım veya düşük frekanslı (<1000 Hz) akımlar taşıyan cihaz ve sistemlerin civarında E ve H alanları belli istisnalar haricinde canlı organizma içinde bazı durumlarda ısınmaya neden olacak büyüklükte olabilir. Burada canlı organizmaya akımın çeşitli yollarla direk geçmesi söz konusu değildir. Ayrıca dipollerin yönelmesi, iyon hareketi gibi termal olmayan etkilerden de bahsetmek mümkündür.

4. Yayınlanmış güç ile canlı vücudunda ısı oluşturmak; cihaz ve sistemlere göre daha kolaydır. RF frekansta yayınlanmış gücün, tüm biyolojik etkileri özellikle sıcaklık artışından ortaya çıkar.

Özgül emilim oranı elektrik alan kullanılarak (3.22) eşitliği ile tüm beden üzerinde veya bir kısmı üzerinden hesaplanır [2].

$$SAR = \int \frac{\sigma(r)|E(r)|^2}{\rho(r)} dr \quad (3.22)$$

Burada σ örneğin elektriksel iletkenliği, E elektrik alanı ve ρ örneğin yoğunluğunu göstermektedir. Bu bağıntıdan; 100 kHz – 10 Ghz frekans aralığına sahip elektromanyetik dalgadan dolayı maruz kalınan enerji miktarında vücut şeklinin, kaynağa göre konumun ve kaynak şeklinin büyük önemi olduğu çıkmaktadır [2].

Günlük hayatta maruz kaldığımız elektromanyetik dalgalara karşı dikkat tavsiye edilen sınır değerleri Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyonlardan Korunma Komisyonu (ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) tarafından belirlenmektedir.

Çalışmalarda mevzu bahis olan insan vücudu hakkında daha fazla bilgi edinmek için insan vücudunun elektriksel özelliklerini bilmek gerekmektedir. Bu

konu da elektromanyetik enerjinin biyolojik dokular üzerinde Stuchly'lerin yaptığı çalışmalar yanında bilgisayarlı modelleme verileri de kullanılmaktadır. Dozimetre araştırmalarında Gabriel tarafından oluşturulmuş radyo dalgaları dozimetre tabloları kullanılmaktadır. Tablo 3.2' de bazı vücut dokularının telsiz haberleşmesinde kullanılan 433 MHz ve GSM haberleşmesinde kullanılan 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarındaki bağıl dielektrik ve iletkenlik değerleri sunulmuştur [2].

Tablo 3.2: Bazı vücut dokularının 433 MHz, 900 MHz ve 1800 MHz frekansında dielektrik ve iletkenlik değerleri

Doku	433 MHz		900 MHz		1800 MHz	
	Dielektrik sabiti	İletkenlik (S/m)	Dielektrik sabiti	İletkenlik (S/m)	Dielektrik sabiti	İletkenlik (S/m)
Hava	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
Kemik	5.1	1.72	20.8	0.34	19.3	0.59
Deri	-	-	43.7	0.68	41.4	1.21
Kan	57.3	1.72	61.4	1.54	59.37	2.04
Göz	57.69	1.01	70.0	1.9	68.6	2.03
Beyin	52.9	0.91	45.8	0.77	43.5	1.14
Kas	64.21	0.96	57.4	0.82	53.5	1.34

Tablo 3.3' de Chou' nun oluşturduğu kas dokusunun akıllı telefonlarda yaygınlaşan yakın alan iletişim (NFC) teknolojisinin kullandığı 13.56 MHz frekansından, evlerde – işyerlerinde kullanılan kablosuz modemlerin kullandığı 2450 MHz frekansa kadar olan band genişliğinde farklı sıcaklıklarda bağıl dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri verilmiştir [2].

Tablo 3.3: 13.56 MHz – 2450 MHz frekans bandında farklı sıcaklıklarda kas dokusunun dielektrik sabiti ve iletkenlik değeri

	15 ± 1° C		22 ± 1° C		30 ± 1° C	
Frekans (MHz)	Dielektrik Sabiti	İletkenlik (S/m)	Dielektrik Sabiti	İletkenlik (S/m)	Dielektrik Sabiti	İletkenlik (S/m)
2450	49.3 ± 1.3	2.09 ± 0.02	47.0 ± 0.9	2.17 ± 0.08	46.0 ± 0.3	2.43 ± 0.02
915	53.1 ± 0.7	1.10 ± 0.02	51.1 ± 0.6	1.27 ± 0.02	46.0 ± 0.3	2.43 ± 0.02
750	53.6 ± 0.6	1.09 ± 0.04	52.5 ± 0.6	1.26 ± 0.04	50.7 ± 1.0	1.43 ± 0.03
433	54.9 ± 0.7	1.07 ± 0.03	53.5 ± 0.5	1.21 ± 0.01	51.3 ± 0.8	1.38 ± 0.03
300	56.9 ± 0.6	1.06 ± 0.01	54.8 ± 0.7	1.17 ± 0.01	52.4 ± 0.7	1.36 ± 0.04
200	59.8 ± 0.6	0.91 ± 0.02	56.7 ± 0.7	1.06 ± 0.02	54.8 ± 1.0	1.21 ± 0.04
100	80.2 ± 1.2	0.76 ± 0.01	71.5 ± 1.1	0.89 ± 0.01	67.3 ± 1.3	1.03 ± 0.02
70	88.1 ± 0.7	0.67 ± 0.01	84.7 ± 0.5	0.76 ± 0.01	80.7 ± 2.8	0.92 ± 0.02
40.68	106.0 ± 2.0	0.60 ± 0.04	97.9 ± 3.8	0.70 ± 0.02	88.6 ± 4.7	0.84 ± 0.04
27.12	118.0 ± 5.0	0.51 ± 0.01	113.0 ± 3.0	0.62 ± 0.02	109.0 ± 1.0	0.72 ± 0.01
13.56	167.0 ± 4.0	0.52 ± 0.02	149.0 ± 3.0	0.62 ± 0.03	141.0 ± 2.0	0.77 ± 0.02

Guy ve Chou yaptıkları bir başka çalışmada farklı frekanslarda, farklı uzuvların güç emilimlerini araştırmışlardır. Bu çalışma Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’ de sunulmuştur [2].

Tablo 3.4: Çok düşük frekansta 1kV/m yatay elektrik alanine ve dokunmayla 1 mA akıma maruz kaldığı farz edilen insanın güç soğurması (Watt) dağılımı (f = 0.06 kHz)

Uzuv	Ayaklar Topraklı	Boşluk	Eller Topraklı	Kafa Teması
Alt Ayak	$3.28 \cdot 10^{-08}$	$4.33 \cdot 10^{-09}$	$3.44 \cdot 10^{-11}$	$1.23 \cdot 10^{-04}$
Üst Ayak	$7.09 \cdot 10^{-09}$	$165 \cdot 10^{-09}$	$6.80 \cdot 10^{-11}$	$3.05 \cdot 10^{-05}$
Orta Gövde	$4.29 \cdot 10^{-09}$	$1.06 \cdot 10^{-09}$	$2.95 \cdot 10^{-10}$	$2.24 \cdot 10^{-05}$
Üst Gövde	$1.41 \cdot 10^{-09}$	$2.91 \cdot 10^{-10}$	$4.73 \cdot 10^{-10}$	$0.00 \cdot 10^{-01}$
Boyun	$6.60 \cdot 10^{-10}$	$2.80 \cdot 10^{-10}$	$6.73 \cdot 10^{-10}$	$0.00 \cdot 10^{-01}$
Kafa	$4.76 \cdot 10^{-10}$	$2.30 \cdot 10^{-10}$	$5.80 \cdot 10^{-10}$	$0.00 \cdot 10^{-01}$
Alt Kol	$4.53 \cdot 10^{-10}$	$946 \cdot 10^{-11}$	$6.47 \cdot 10^{-08}$	$2.00 \cdot 10^{-04}$
Üst Kol	$1.06 \cdot 10^{-09}$	$2.21 \cdot 10^{-10}$	$3.81 \cdot 10^{-08}$	$1.18 \cdot 10^{-04}$
Tüm Vücut	$5.09 \cdot 10^{-08}$	$8.91 \cdot 10^{-09}$	$1.05 \cdot 10^{-07}$	$5.06 \cdot 10^{-04}$
Ortalama SAR	$6.41 \cdot 10^{-10}$	$1.12 \cdot 10^{-10}$	$1.32 \cdot 10^{-09}$	$6.38 \cdot 10^{-06}$

Tablo 3.5: 1 kV/m yatay elektrik alanına ve dokunmayla 1 mA akıma maruz kaldığı farz edilen insanın güç soğurması dağılımı (f = 3000 kHz)

Uzuv	Ayaklar Topraklı	Boşluk	Eller Topraklı	Kafa Teması
Alt Ayak	$5.12 \cdot 10^{+01}$	$6.75 \cdot 10^{+00}$	$5.36 \cdot 10^{-02}$	$7.66 \cdot 10^{-05}$
Üst Ayak	$1.02 \cdot 10^{+01}$	$2.38 \cdot 10^{+00}$	$9.68 \cdot 10^{-02}$	$1.76 \cdot 10^{-05}$
Orta Gövde	$4.48 \cdot 10^{+00}$	$1.11 \cdot 10^{+00}$	$3.08 \cdot 10^{-01}$	$9.36 \cdot 10^{-06}$
Üst Gövde	$2.09 \cdot 10^{+00}$	$4.28 \cdot 10^{-01}$	$7.44 \cdot 10^{-01}$	$0.00 \cdot 10^{-01}$
Boyun	$1.38 \cdot 10^{+00}$	$5.89 \cdot 10^{-01}$	$1.42 \cdot 10^{+00}$	$0.00 \cdot 10^{-01}$
Kafa	$5.86 \cdot 10^{-01}$	$2.85 \cdot 10^{-01}$	$7.06 \cdot 10^{-01}$	$0.00 \cdot 10^{-01}$
Alt Kol	$6.91 \cdot 10^{-01}$	$1.44 \cdot 10^{-01}$	$1.01 \cdot 10^{+02}$	$2.00 \cdot 10^{-04}$
Üst Kol	$1.50 \cdot 10^{+00}$	$3.14 \cdot 10^{-01}$	$5.42 \cdot 10^{+01}$	$1.24 \cdot 10^{-04}$
Tüm Vücut	$7.51 \cdot 10^{+01}$	$1.28 \cdot 10^{+01}$	$1.58 \cdot 10^{+02}$	$6.70 \cdot 10^{-05}$
Ortalama SAR	$9.46 \cdot 10^{-01}$	$1.62 \cdot 10^{-01}$	$1.99 \cdot 10^{+00}$	$3.79 \cdot 10^{-06}$

Tablo 3.3' e göre üzere elektromanyetik dalganın frekansı veya sıcaklığı arttıkça kas dokusunun iletkenliği artmakta, ayrıca Tablo 3.4 ve 3.5' de görüldüğü üzere elektromanyetik dalganın frekansı arttıkça soğrulma miktarı artmaktadır [2].

4. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Teknolojinin modern hayata sağladığı kolaylıklar nedeniyle çevremizde var olan ve istem dışı maruz kalınan elektromanyetik alanlar yüksek gerilim hatları, Radyo-TV vericileri ve baz istasyonları kaynaklı olabilmektedir. Cep telefonları da önemli bir EMR yayıcı olmakla birlikte kişilerin bireysel tercihleriyle yaptıkları konuşmalarda oluştuğu için vermiş olduğu risk kullanan bireye özgü kalmaktadır. Ancak diğerleri ise teknolojinin topluma sağladığı yaşam kalitesi ve iletişim kolaylığı nedeniyle cep telefondan farklıdır. Yani bir kişi cep telefonu kullanmayabilir ve dolayısıyla cep telefonundan yayılan ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek özelliğe sahip mikrodalgadan kendisini uzak tutabilir. Ancak bu kişi evinin yakınında teknik kurallara uygun olmayan bir şekilde konumlandırılmış baz istasyonları, trafo ve yüksek gerilim hatları varsa sağlığını olumsuz etkileyebilecek şiddetteki elektromanyetik alanlara farkına varmadan sürekli maruz kalabilir. Bu nedenle elektromanyetik radyasyondan insanların korunması için her ülke kendi standartlarına göre limit değerler belirlemiştir [1].

Bu bölümde, bilim dünyasında tartışılmakta olan bir konu olan elektromanyetik alanın etkileri hakkında literatürde bulunan bazı çalışmalar olumlu ve olumsuz etkiler yönünden incelenecek, daha sonra ise ulusal ve uluslararası arenada insan sağlığı açısından belirlenmiş standart ve sınır değerlerinden bahsedilecektir.

4.1 Elektromanyetik Alanların Olumlu Etkileri

Bu bölümde elektromanyetik alanların etkileri farklı frekanslarda, farklı sürelerde ve farklı dokularda araştırılmış ve olumlu sonuçlara sebep olduğu savunulmuştur.

Ziskin, milimetre dalga terapisinin, hastalıkların alternatif tedavisinde düşük yoğunluklu milimetre dalgaboyu elektromanyetik dalga uygulaması olduğundan bahsetmiştir. Bu tedavi için genelde 42.2 GHz, 53 GHz ve 61.2 GHz frekanstaki dalga boyları kullanılmıştır. İyonize olmayan bu milimetre dalgaboyuna sahip elektromanyetik dalgaların belirli bir bölge için belirli bir süre düşük yoğunlukta uygulanmasıyla tedavinin gerçekleştiğini savunmuştur. Bu tedavinin kardiyovasküler, diabet, gastrointestinal hastalıklarda, yara iyileştirmelerinde, acı yardımlarında ve toksik madde uzaklaştırılmasında kullanıldığını belirtmiştir [2].

195 hasta üzerinde omuz için kronik kalsifiye tendinit için uygulanan şok tedavisinin enerji bağımlı başarı sağladığı raporlanmıştır. Loew ve arkadaşları, şok tedavisinin konservatif tedaviye direnen kalsifiye tendinit tedavilerinde kronik acı için düşünülebileceğini önermiştir [2].

Kanser tedavisinde, tümör hücrelerinin diğer organlara yayılmasını engellemek için doğal hücre öldürme aktivitesini baskılanması amaçlanmıştır. Bu çalışmada Logani 42.2 GHz frekansta milimetre dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar kullanmıştır. Deney grubunu 10'ar hayvandan oluşan 5 gruba bölmüştür. Bu gruplardan siklofosfamid verilerek elektromanyetik dalga uygulanan hayvanlarda tümör yayılmasının azaldığını gözlemlemiştir [2].

Kronik eklem ağrıları için Usichenko bir seri pilot çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kronik eklem ağrılarını tedavi etmek için 2.5 mW/cm² güç yoğunluğunda ve 54-78 GHz frekans aralığında milimetre elektromanyetik dalga kullanmıştır. Tedavi sonrası kısa süreli olarak ağrıların yoğunluğunda ve tedavi ihtiyacında azalma görülmüş ancak sadece 1 hastada 6 ay sonunda kabul edilebilir bir değişiklik görülmediğinden bahsetmiştir [2].

Elektromanyetik dalgaların deri melanomalarında, gırtlak, burun ve kulak kanserleri, aktif akciğer tüberkülozu, peptik ülser, koroner anadamar hastalıkları, hipertansiyon vb. rahatsızlıkların tedavilerinde kullanıldığı araştırmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda genel olarak 40-70 GHz frekans aralığı kullanıldığı görülmüştür. Bu frekans aralığındaki elektromanyetik dalganın kısa sürelerle ve düşük güç yoğunluğunda uygulanarak olumlu sonuçlar alındığı sunulmuştur. Bu çalışmaların çoğunlukla Rusya literatüründe bulunması dikkat çekicidir [2].

4.2 Elektromanyetik Alanların Olumsuz Etkileri

Elektromanyetik kirliliğin en önemli özelliği sigara, cep telefonu gibi isteğe bağlı olarak kullanılan zararlı maddelerde olduğu gibi kişiye özgü olmamasıdır. Bilakis baz istasyonları ve yüksek gerilim hatlarında olduğu gibi insan iradesi dışında bir kaynaktan yayılarak sürekli yaşam ortamında istem dışı varlığını sürdürmesidir [1]. Bu bağlamda, canlıların elektromanyetik alanlara maruz kaldıkları süre ve yoğunluğa bağlı olarak, maruz kaldıkları olumsuz etkiler hakkında çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların sonucunda, teklifler, öneriler ve uyarılar yapılmıştır.

Bilim ve teknolojinin hızla geliştiği ve bunun doğal sonucu olarak canlıların daha fazla elektromanyetik alana maruz kaldığı günümüzde, yapılan epidemiyolojik çalışmalar yüksek gerilim hatları ve elektrikli ev aletlerinin kanser riskini arttırdığını göstermektedir [24].

Önal tarafından yapılan çalışmada, dünyanın oluşturduğu manyetik alanın insan üzerindeki etkisi üzerinde durulmuş, uzaya gönderilen ilk astronotların ilk başlarda anlaşılmayan ancak elektromanyetik odalar ile tedavi edilen rahatsızlığına değinilmiştir. Bu durumun insan vücudunun belli bir manyetik alan içerisinde yer alması gereksinimini göstermiştir. Bu gereksinim manyetik alanın frekans, yön ve büyüklüğü konularında hassas olduğunu ortaya çıkarmıştır [13].

İnsan vücudunda doku ve hücrelerin kendi içlerinde ve aralarında elektriksel olarak iletişim kurduğu dolayısıyla vücudun elektriksel bir dengeye sahip olduğu bilinmektedir. Elektromanyetik alanların bu dengeli bozabileceği, sinir sistemi başta olmak üzere, bağışıklık sistemi, kalp damar sistemi ve bağışıklık sisteminde bozulmalara sebebiyet verebileceği düşünülmektedir. Özellikle sinir sistemine bağlı olarak baş ağrıların ve baş dönmelerinin artması elektromanyetik alanlardan kaynaklı olduğunu öne süren çalışmalar literatürde mevcuttur [2].

Coşkun ve arkadaşları, Helmholt bobinleri kullanılarak oluşturulan 50Hz-1mT manyetik alanın izole sıçan siyatik siniri üzerindeki etkisini incelemiştir. Hücre dışı izole kayıt yöntemi kullanılarak maksimum genlik, minimum genlik farkı, iletme zaman farkı, ortalama kutuplamadan kurtulma süresi, ortalama tekrardan

kutuplanma süresi ve ortalama hiper kutuplanma süreleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda manyetik alana maruz bırakılan sinir hücrelerinin maksimum genlik farklarında (mV) ve ortalama hiper kutuplanma sürelerinde (ms) düşüş olduğu gözlemlenmiştir [25].

900 MHz GSM iletişim bandındaki elektromanyetik dalgalarının uyku üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada Borbely SAR değeri 1W/kg olan darbeli elektromanyetik alanı sağlıklı deneklere 15 dakika uygulayıp 15 dakika ara vermiştir. Bu uygulama tüm gece devam etmiş ve uykudaki hızlı olmayan göz hareketleri esnasında EEG'nin alfa dalga bantlarında artışlar olduğunu tespit etmişlerdir. Alfa dalga bantlarındaki değişikliklerin mide bulantısı, endişe duygusu, terleme ve baş dönmesi gibi fizyolojik ve psikolojik değişimlere sebep olabileceği bilinmektedir [2].

Denver bölgesinde evlerin zemininden geçen sıhhi tesisat boruları üzerinden akan topraklama akımının çocukluk çağı kanseri ile bir ilgisi olup olmadığı incelenmiştir. Çalışmada sıhhi tesisat borularının metal gövdelerinin üzerinden akan akımın oluşturduğu manyetik alanın etkisi gözlemlenmiştir. 347 toprak hattı akım taşıyan ev ile 277 toprak hattı aktif olmayan ev çalışma grubu olarak alınmıştır. Çalışma sonucunda toprak hattı aktif olan evlerdeki çocuklarda kanser riskinde önemli değerler elde edilmiştir. Evlerin zemininden akan akımın büyüklüğü ile kanser riski arasındaki ilişkiye vurgu yapılmıştır [2].

Cep telefonlarının ejaküle insan spermi üzerindeki etkileri Agarwal tarafından laboratuvar ortamında incelenmiştir. Hastane ortamında yapılan deneyde sağlıklı 23 ve kısır 9 kişi olmak üzere 32 denek kullanılmıştır. Deneklerden alınan sağlıklı örnekler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup örnekler konuşma modunda bir saatlik radyasyona maruz bırakılmış ve diğer örnekler aynı ortamda muhafaza edilmiş ancak radyasyona maruz bırakılmamıştır. Örnekler, sperm parametreleri motilite ve viabilite, reaktif oksijen türü (ROS), toplam antioksidan kapasitesi (TAC) ve sperm DNA hasarı bakımından incelenmiştir. Çalışma sonucunda elektromanyetik radyasyona maruz kalan spermlerin motilitesinde ve viabilitesinde düşüşler olduğu, ROS seviyesinin arttığı ve ROSTAC puanının düştüğü rapor edilmiştir. Radyasyona maruz bırakılmayan grup örneklerine göre TAC seviyesinde ve DNA hasarında kayda değer bir farklılık gözlemlenmediği belirtilmiştir. Cep telefonlarının konuşma

modunda pantolon cebinde tutma konusunda sperm ve dölleme konusunda olumsuz etkilerin olduğunu tahmin ettikleri görülmüştür [2].

954 MHz GSM baz istasyonu şebekesi anten yayınlarına maruz kalan kan hücrelerinin incelendiği bir çalışmada, mesleğinden ötürü bu antenlere yakın olmak zorunda kalan bakım onarım çalışanlarının kan örnekleri de incelenmiştir. Çalışma sonucunda laboratuvar ortamında elektromanyetik dalgaya maruz bırakılan kan hücreleri ve mesleğinden ötürü bu tür antenlere yakın olmak zorunda olan deneklerden alınan kan hücrelerinin bazılarında sitogenetik bozulmalara rastlanmış olsa da tüm toplumu zararları konusunda ikna etmenin zor olduğundan bahsetmiştir. Bu araştırma GSM sektöründe baz istasyonu bakım, onarım ve kurulum safhalarında çalışan insanların tehlike altında olduğunu göstermektedir [2].

Çocukluk çağı kanserlerinin incelendiği bir çalışmada, yüksek gerilim hatlarından, 50 metre uzaklığa kadar olan alanlar içerisinde yaşayan çocuklar incelenmiş, sonuç olarak lösemi oranında artış gözlenmiştir [26].

Günlük yaşamda maruz kalınan elektromanyetik alanın beyin tümörlerini, özellikle erkeklerde, lösemiye yakalanma ihtimalini arttırdığı rapor edilmiştir [27]. Başka bir çalışmada ise, yüksek gerilim hatlarına 100 metrelik mesafe içerisinde yaşayan yetişkinler üzerinde yapılan araştırmada, lösemiye yakalanan kişi sayısında artış gözlemlenmiştir [28].

4.3 İnsan Sağlığı Açısından Uluslararası Standartlar ve Sınır Değerler

Elektromanyetik alanların etkilerinden korunma amaçlı farklı kurum ve kuruluşlarca oluşturulan disiplinler arası bilim ekipleri, standart ve sınır değerleri belirlemişlerdir. Avrupa Birliği'ne üye ülkeler ve ABD dahil olmak üzere birçok dünya ülkesinde uygulanan sınır değerler bulunmaktadır. Bu sınır değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından da tanınan ve uluslararası bir komisyon olan ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection-Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu) tarafından genel halk için günde 24 saat maruz kalındığı kabulüyle belirlenmiştir. Sınır değerler

yayılan radyasyonun frekansına bağlı olarak değişmekte olup, her frekans için farklıdır. Bu komisyon sınır değer olarak 900 MHz frekansındaki elektrik alan şiddeti için 41,25 V/m ve manyetik alan şiddeti için 0,111 A/m değerini belirlemektedir (Bu değerler 2100 MHz frekansı için 61 V/m ve 0,16 A/m'dir) [1].

ICNIRP bağımsız bir kuruluştur. Türkiye' nin de içinde bulunduğu dünyanın birçok ülkesi tarafından kabul gören maruziyet limitlerini belirleyen ve devamlı olarak bu konularda çalışma yapan uluslararası bir komisyondur. Bu kurum tarafından hazırlanan raporda elektromanyetik kirliliğin zararlı olduğu, bu nedenle sınır değerlerin belirlenmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Bu amaçla halk maruziyet ve mesleki maruziyet sınır değerleri belirlenmiştir [29]. Bu sınır değerlerinden mesleki maruziyet için değerler Tablo 4.1' de verilmiştir.

ICNIRP, mecburi maruziyet yani mesleki maruziyet limitlerini katılaştırarak genel halk sağlığı için limit değerlerini oluşturmuştur. Bu değerler Tablo 4.2' de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Mesleki maruziyet için elektromanyetik limit değerleri (ICNIRP)

Frekans Aralığı	Elektrik Alan (V/m)	Manyetik Alan (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)	Güç Yoğunluğu (W/m^2)
1 Hz' e kadar	-	$1.63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	-
1 Hz – 8 Hz	20 000	$1.63 \cdot 10^5 / f^2$	$2 \cdot 10^5 / f^2$	-
8 Hz – 25 Hz	20 000	$2 \cdot 10^4 / f$	$2.5 \cdot 10^4 / f$	-
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	$1.6 / f$	$2 / f$	-
1 – 10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	$2 / f$	-
10 – 400 MHz	61	0.16	0.2	10
400 – 2000 MHz	$3 \cdot f^{1/2}$	$0.008 \cdot f^{1/2}$	$0.01 \cdot f^{1/2}$	$f / 40$
2 – 300 GHz	137	0.36	0.45	50

Tablo 4.2: Halk sağlığı elektromanyetik maruziyet sınır değerleri (ICNIRP)

Frekans Aralığı	Elektrik Alan (V/m)	Manyetik Alan (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)	Güç Yoğunluğu (W/m^2)
1 Hz' e kadar	-	$3.2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	-
1 Hz – 8 Hz	10 000	$3.2 \cdot 10^4/f^2$	$4 \cdot 10^4/f^2$	-
8 Hz – 25 Hz	10 000	$4 \cdot 10^3/f$	$5000/f$	-
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	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	-
10 – 400 MHz	28	0.073	0.092	-
400 – 2000 MHz	$1.375 \cdot f^{1/2}$	$0.0037 \cdot f^{1/2}$	$0.0046 \cdot f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0.16	0.20	10

4.4 İnsan Sağlığı Açısından Ulusal Standartlar ve Sınır Değerler

Elektromanyetik alanların muhtemel zararlarına karşı, dünyada olduğu gibi ülkemizde de halk sağlığını korumak amaçlı çalışmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda ülkemiz için limit değerleri aşağıda sıralanan yönetmeliklere göre belirlenmektedir.

- Telekomünikasyon Kurumu tarafından resmi gazetenin 12.07.2001 tarihli sayısında "10 kHz- 60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik" [2].
- Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'nca resmi gazetenin 24.10.2007 tarihli sayısında "Elektromanyetik Uyumluluk Yönetmeliği" [30].
- Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından hazırlanan ve Sağlık Bakanlığı, Çevre ve Orman Bakanlığı, Üniversiteler ile çok sayıda kamu

kurum ve kuruluşunun uygun görüşü alınarak ICNIRP' nın standartları göz önünde tutularak 21.04.2011 tarihli resmi gazetede “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik” [31].

- Bilgi Teknolojileri Kurumunca belirlenen sınır değerleri elektromanyetik tayfın iyonlaştırıcı olmayan radyasyon bölgesinin tamamını kapsamamaktadır. Bu sebeple Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 24.07.2010 tarihli resmi gazetede “İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik”[31].
- 24.03.2000 tarihli resmi gazetede yayımlanan “Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği”[2]

Ülkemizde Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu ICNIRP limitlerinin en üst seviyesine göre belirlediği limitleri 21.04.2011 Tarih ve 27912 Sayılı Resmi Gazetede “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik” te yayınlamıştır. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu yönetmeliğinde ortamın toplamı için olan sınır değerler ile tek bir cihaz için olan sınır değerler birbirinden ayrılmıştır ve ortamın toplamı için olan sınır değerinin 1/4' ü alınarak tek bir cihaz için olan sınır değer belirlenmiştir. Ülkemizde uygulanan sınır değerler Tablo 4.3' de ve buna göre baz istasyonlarının çalıştığı frekanslar için ülkemizde geçerli sınır değerler Tablo 4.4' te gösterilmiştir [1].

Tablo 4.3: Ortam ve tek bir cihaz için belirlenen limit değerler (BTK)

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 bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir 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	0.73/f ^{1/2}	87/f ^{1/2}	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
10-400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400-2000	0.341·f ^{1/2}	1.375·f ^{1/2}	0.0009·f ^{1/2}	0.0037·f ^{1/2}	0.001·f ^{1/2}	0.0046·f ^{1/2}	f/3200	f/200
2000-6000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

Tablo 4.4: Türkiye’ de geçerli elektromanyetik radyasyon sınır değerleri

GSM Operatörü	Frekans Bandı	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)		Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	
		Tek bir cihaz için	Ortamın toplamı için	Tek bir cihaz için	Ortamın toplamı için
VODAFONE	900 MHz	10.23	41.25	0.027	0.111
TURKCELL	900 MHz	10.23	41.25	0.027	0.111
AVEA	1800 MHz	14.47	58.34	0.038	0.157
3G (Her üç operatör)	2100 MHz	15	61	0.04	0.16

BM ihtiyatlılık ilkesi gereği karar vericilerin, insan sağlığına yönelik risklerin varlığı veya boyutu hakkında bilimsel bir şüphe varsa, bilimsel kanıtın ortaya çıkmasını beklemeden önlem almaları gerekmektedir. Bu ilke gereği aralarında Türkiye’ nin de olduğu bazı ülkelerin maruziyet limitlerini daha katı uyguladığı görülmektedir [1,32].

5. ÇALIŞMA ALANI VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ

Bu bölümde çalışma yapılan bölgeler kısaca tanıtılacak, ardından ölçüm yöntemi basamaklar halinde anlatılacaktır.

5.1 Çalışma Alanı

Elektromanyetik alanlar duyu organları ile algılanamamakta, ancak ölçülerek değerlendirilebilmektedir. Yapılan ölçüm sonuçları ise uluslararası ya da ulusların kendi belirledikleri insan sağlığına zarar vermeyeceği düşünülen sınır değerlere göre değerlendirilir. Sınır değerinin altındaki ölçümlerin insan sağlığına zarar vermeyeceği kabul edilmektedir [1].

Elektromanyetik alanlarda maruziyet başlıklı 5000' e yakın araştırma, makale ve derleme türü yazılarda çok kesin bir ilişki kurulamasa da 1990 sonrasında yüksek frekanslı elektromanyetik alan yayan cep telefonlarının yaygınlaşmasıyla başta beyin tümörü olmak üzere özellikle sinir hücrelerinin zarar görmesinden kaynaklı hastalıkları araştıran çok sayıda çalışma yayınlanmıştır. Bu çalışmaların hepsinin sonunda da “Bu hastalıklarla elektromanyetik alanların bir ilişkisi var gibi görünmektedir; ama bu konuda çok daha ayrıntılı, çok daha kesin sonuç verici çalışmalar yapılmasına ihtiyaç vardır” denilerek bu konudaki araştırma ihtiyacına değinilmektedir [2].

Elektromanyetik kirliliğin hastalıklar ile ilişkilendirme araştırmalarında, oluşturulan bölgesel elektromanyetik kirlilik haritaları ile bu bölgelerdeki hastalıkların haritalarının karşılaştırma çalışması yardımcı olabilir. Farklı bölgelere ait elektromanyetik kirlilik haritaları karşılaştırması ile belirli bir hastalığın görülme sıklığı kıyaslanabilir [2].

Elektromanyetik kirlilik haritalarının oluşturulması ile kamuoyunun günlük hayatta maruz kaldıkları elektromanyetik kirlilik miktarı konusunda bilgilenebilir. Risk altında yaşayan halkın bu riskten haberdar olması ve bunun için

önlem alması sağlanabilir. Gerekli kamu kurum ve kuruluşları tespit edilen risk bölgeleri hakkında bilgilendirilebilir [2].

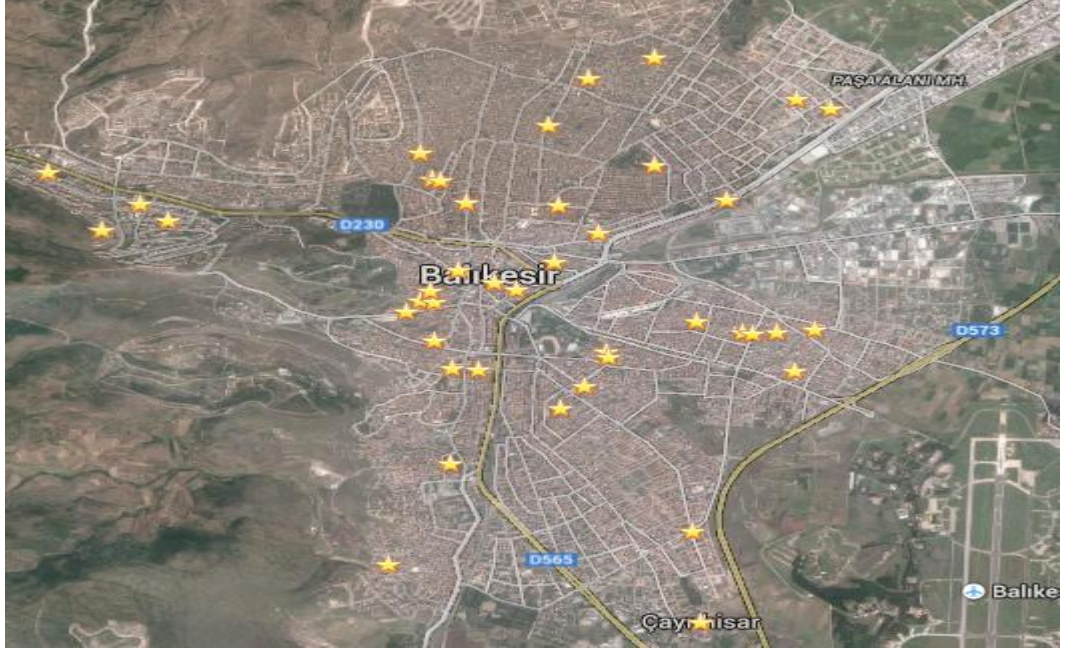
Bu tez çalışmasında Drive Test yöntemi kullanılarak, Bilgi Teknolojileri Kurumu'ndan elektrik alan ölçümü konusunda yetkin bir personelin denetimi ile Balıkesir ili şehir merkezinde 12867 ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nde 1060 noktada elektrik alan değeri ve koordinat bilgilerine göre kayıt altına alınmıştır. Elektrik alan ölçüm değerleri ve koordinat bilgilerinden faydalanılarak Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nin elektromanyetik alan haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar kamuoyu ile paylaşılabilmesi için kamuoyunun anlayabileceği şekilde renklendirilmiş ve ölçeklendirilmiştir.

Çalışma alanı iki bölgeye ayrılarak incelenmiştir. Bu bölgeler, Balıkesir ili şehir merkezi ve bu ilde bulunan Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nden oluşmaktadır.

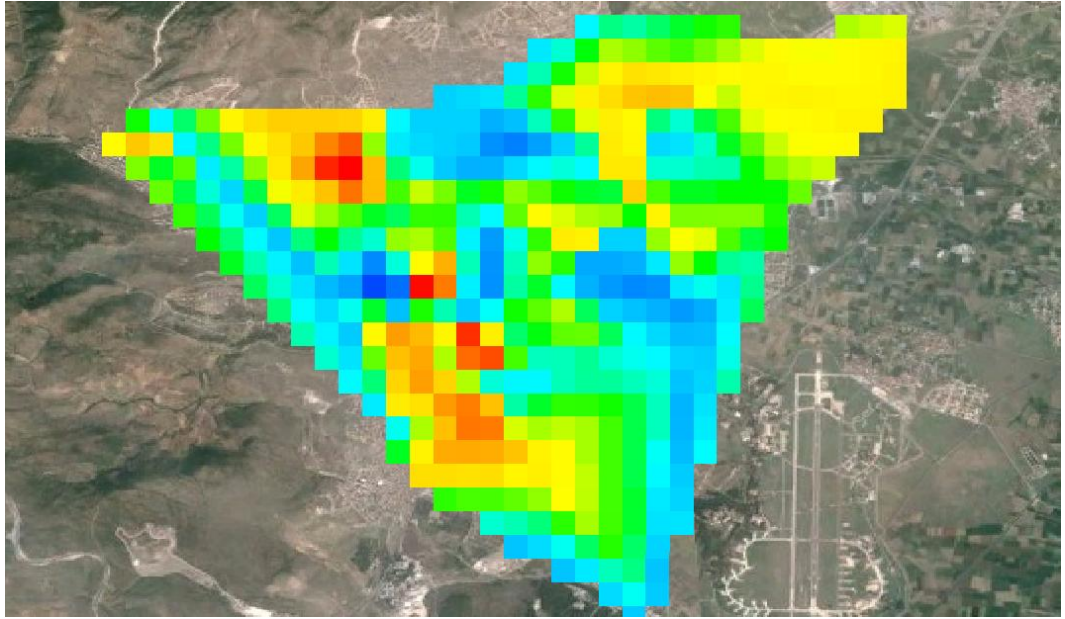
5.1.1 Balıkesir İli Şehir Merkezi

Şehir merkezi nüfusunu oluşturan, Karesi ve Altieylül merkez ilçelerinin toplam nüfusu 337809 kişi olmakla birlikte toplamda 1742 kilometrekarelik bir alanı kapsamaktadır. Şekil 5.1' de uydu görüntüsü verilmiş olup, okullar, hastaneler ve camiler yıldız imgesiyle gösterilmiştir.

BTK kurumunun belirli periyotlarda baz istasyonları kaynaklı elektromanyetik alan kirliliğinin tespiti amacıyla yaptığı ölçüm sonuçlarına göre oluşturulan, Balıkesir ili şehir merkezi baz istasyonları kaynaklı elektromanyetik alan haritası Şekil 5.2' de gösterilmiştir. Bu haritanın önemi, tezin icrasından önce şehir merkezinin elektromanyetik alan kirliliği hakkında bir taslak oluşturması ve planlanacak rotanın seçimi için yol gösterici nitelikte olmasıdır. Bu haritanın oluşturulması için gerekli olan değerler BTK kurumunda çalışan yetkili personelden temin edilmiştir.



Şekil 5.1: Balıkesir ili şehir merkezi çalışma alanı uydu görüntüsü



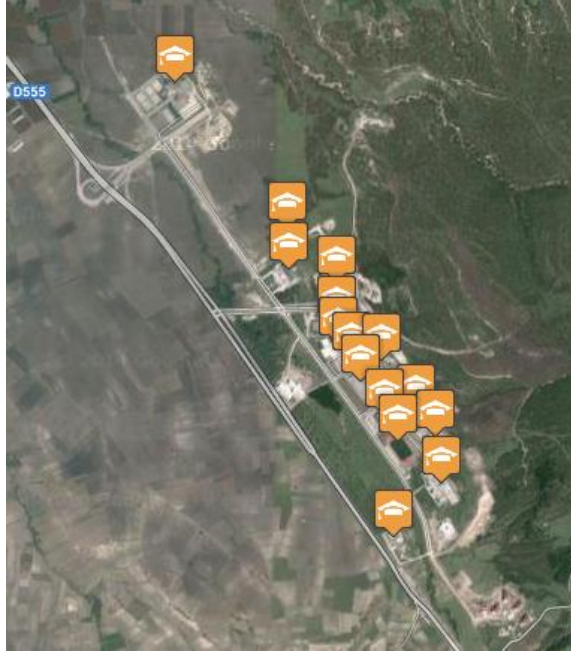
Şekil 5.2: Balıkesir ili şehir merkezi baz istasyonları kaynaklı elektromanyetik alan haritası (BTK)

5.1.2 Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi

Balıkesir Üniversitesi, 11 Temmuz 1992 tarihinde kurulmuş olup; bugün 11 Fakülte, 5 Enstitü, 5 Yüksekokul, 16 Meslek Yüksekokulu, 19 Araştırma Merkezi, Rektörlüğe bağlı 3 Bölüm, 1081 öğretim elemanı ve 38.892 öğrenci ile faaliyetlerini sürdürmektedir [6].

Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi, Balıkesir - Bigadiç karayolunun 17. km'sinde Çağış ve Paşaköy sınırları içinde 5.000 dönümlük bir alan üzerine kurulmuştur [6].

Rektörlük, Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi, Tıp Fakültesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Turizm Fakültesi, Veteriner Fakültesi, Balıkesir Sağlık Yüksekokulu, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Kapalı Spor Salonu, Açık Spor Tesisleri, Yarı Olimpik Kapalı Yüzme Havuzu, Kongre ve Kültür Merkezi, Merkez Kütüphane, Merkezi Yemekhane, Öğrenci Yaşam Merkezi, KYK Yurtları ve Öğrenci Çarşısı Çağış Yerleşkesinde bulunmaktadır [6]. Şekil 5.3' de uydu görüntüsü verilmiş olup yukarıda belirtilen birimler üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 5.3: Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi çalışma alanı uydu görüntüsü

5.2 ÖLÇÜM YÖNTEMİ

Elektromanyetik radyasyonu (EMR) oluşturan iki bileşen vardır: bunlar elektrik alan ve manyetik alandır. Bu iki bileşen ayrı ayrı ölçülmektedir ve elektromanyetik radyasyon veya elektromanyetik kirlilik (EMK) ifadeleri kullanıldığında bu bileşenlerin her ikisi birlikte kastedilmektedir. Elektrik alan şiddetinin birimi V/m, manyetik alan şiddetinin birimi için A/m, Tesla, Gauss birimleri de kullanılır. ELF bantta elektrik ve manyetik alanlar birbirinden bağımsızdır ve ayrı ölçülür. Son zamanlarda yapılan araştırmalar ELF frekanslarında manyetik alanının sağlık açısından elektrik alana göre daha etkili olduğu belirtilmektedir. Yüksek frekanslarda ise dalga yayıldıkça elektrik ve manyetik alan birbirine bağlı olarak hareket eder ve ortamda bir tanesi (özellikle elektrik alan) ölçülür ve diğeri de ilgili bağıntı yardımıyla belirlenir. Baz istasyonlarının ölçümü elektrik alana duyarlı prob antenlerle ölçülür ve manyetik alan karşılığı bu ölçüm değerinden faydalanılarak hesaplanır. Baz istasyonunun çok yakınında yapılacak ölçümlerde manyetik alan probu kullanılır. Belirli bir uzaklıktan sonra elektrik alan probu ile ölçüm yapılır [1].

BTK tarafından yayımlanan yönetmeliğin [30] ölçüm yöntemlerinin anlatıldığı 15. Maddesine göre, ölçüm yapılacak hücre baz istasyonları için 6 dakikalık süre boyunca ölçüm ekipmanlarının sabitlenmesi gerekmektedir. Bu ölçüm yöntemi statik ölçüm yöntemi olarak da isimlendirilmektedir [15]. Bu yöntemle, taranacak olan sahanın büyüklüğü ile doğru orantılı olarak, hızlı durum belirlmesine yönelik olarak yapılacak bir saha taramasının maliyetinin yüksek olacağı ve uzun zaman alacağı aşıkardır.

Yapılan çalışmada ölçümler, statik ölçüm yöntemi yerine, BTK tarafından Elektromanyetik saha ölçümünde kullanılan [15] ve dinamik ölçüm yöntemi olarak da adlandırılan Drive Test Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Literatürde dinamik ölçüm yöntemi ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [38].

5.2.1 Kullanılan Ekipmanlar

Sayısal kirlilik haritasının oluşturulabilmesi için elektrik alan büyüklüğü ve konum bilgisi gerekmektedir. Bu bilgilerin alınabilmesi için elektrik alan ölçer, ölçüm değerlerini dizüstü bilgisayara aktaracak kablo, ölçüm değerlerini sisteminde kurulu ölçüm programı ile kaydedecek bir bilgisayar ve ölçüm koordinatlarını belirleyecek GPS cihazından oluşan bir sistem gerekmektedir. Bu sistemin doğruluğunun kabul edilebilmesi için gerekli özellikler aşağıda belirtilmiştir [2].

Ölçüm yönteminde kullanılan alıcı sistemin özellikleri,

- Çok yönlü anten kullanımı (omnidirectional)
- +/- 1.5 dB doğrulukta ve tekrar üretilebilir ölçümler
- Yüksek dinamik aralık
- Hızlı tarama veya hızlı genişbant örnekleme
- GPS konum kayıtları
- Otomatik, bilgisayar kontrollü operasyon

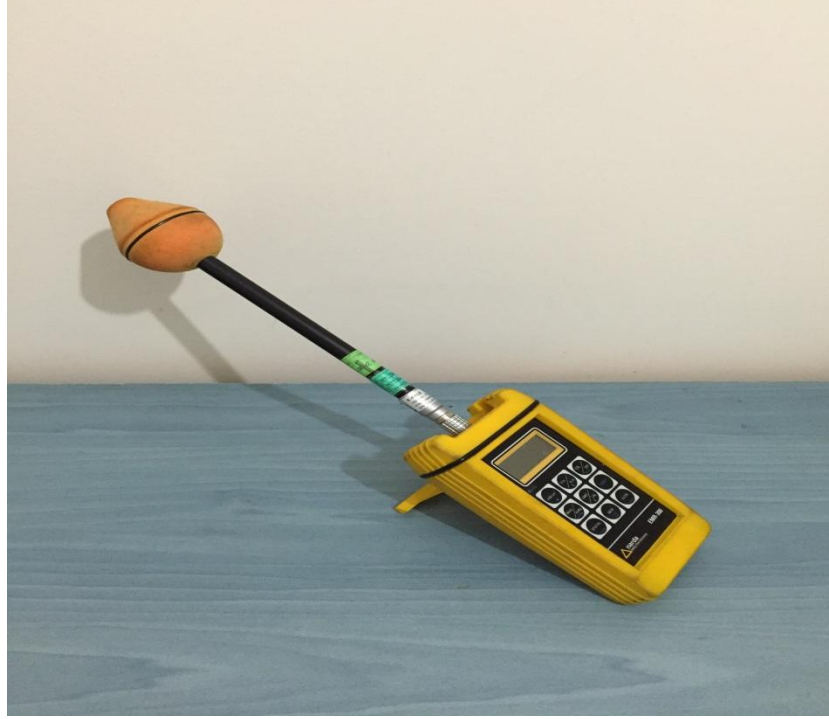
Ölçüm yönteminde kullanılan veri toplama özellikleri,

- Planlı rota ile haritalanacak bölgenin homojen taranması
- Ortalama için en az 50 örnek

5.2.1.1 Elektrik Alan Ölçüm Cihazı

Elektrik alan değerleri BTK onaylı, kalibrasyonu yeni yapılmış NARDA marka EMR-300 cihazı ile alınmıştır. Cihaz uygun prob kullanılarak 8 Hz - 60 GHz frekans aralığında ölçüm yapabilmektedir. Bu tez çalışmasında kablosuz iletişim cihazlarının kullandığı frekans bandını mercek altına alabilmek için Şekil 5.4' de gösterildiği gibi 18C 2244/90.73 tipli probe modeli kullanılmıştır. Bu probe ile 100 kHz – 3GHz frekans aralığı ölçülebilmektedir. Cihazın özellikleri arasında hafızasında 3000 değere kadar bilgi saklayabilmek bulunmaktadır, fakat ölçüm çalışmasında veri sayısının yüksek olmasından dolayı BTK tarafından sağlanan EMR-TS yazılımı ile bilgisayara aktarma tercih edilmiştir.

Cihazın ölçüm frekans bandının geniş olması sayesinde WLAN, WIFI, bluetooth, radyo, TV, UMTS, GSM, radarlar ve mikrodalga fırınlar gibi birçok cihazın kullandığı frekans değerini ölçebilmektedir.



Şekil 5.4: Narda marka 100KHz – 3 GHz frekans aralığına uygun probe takılmış EMR-300 ölçüm cihazı

Narda marka EMR-300 ölçüm cihazının özellikleri Tablo 5.1’ de verilmiştir [33]. Bu tablo doğrultusunda Narda marka EMR-300 ölçüm cihazının uygunluğuna karar verilmiştir.

Tablo 5.1: Ölçümlerde kullanılan Narda EMR-300 ölçüm cihazının tip 18C probu ile kullanıldığında teknik özellikleri

Ekran Tipi	4 ½ basamak LCD
Ekran Yenileme Oranı	400 msn, tipik
Çözünürlük	0.01 V/m, 0.0001 A/m
Durultma Süresi	1 sn (0’ dan % 90 ölçülmüş değer)
Probe Modeli	Type 18C 2244/90.73
Frekans Aralığı	100 kHz’ den 3 GHz’ e
Ölçüm Aralığı	0.2’ den 320 V/m’ ye
Frekans Hassasiyeti	±1.2 dB (100 kHz – 100 MHz) ±1.5 dB (1.2 GHz – 2.5 GHz) -3 dB (3 GHz)

5.2.1.2 GPS Cihazı

Sayısal kirlilik haritası oluşturabilmek için ölçülen elektrik alan değerlerinin koordinat bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Koordinat değerlerinin hesaplanması için GPS cihazları kullanılmaktadır. Bu çalışmada koordinat değerlerinin bulunması için Şekil 5.5’ de gösterilen Piranha marka GPS cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.5: Ölçümlerde kullanılan Piranha marka GPS cihazı

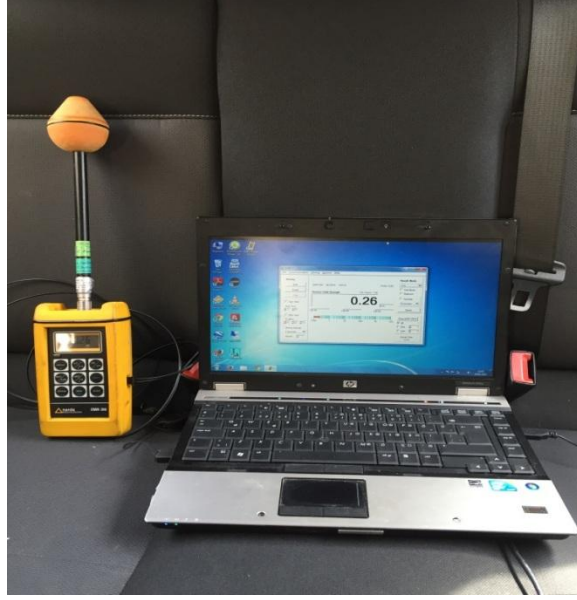
GPS cihazı Şekil 5.6’ da gösterildiği gibi araç ön camına yerleştirilmiştir. Bu sayede önceden belirlenmiş olan güzergah takip edilmiş ve katedilen yollar sürekli gözlemlenmiştir.



Şekil 5.6: Ölçümlerde kullanılan GPS cihazının araç içerisindeki yerleşimi

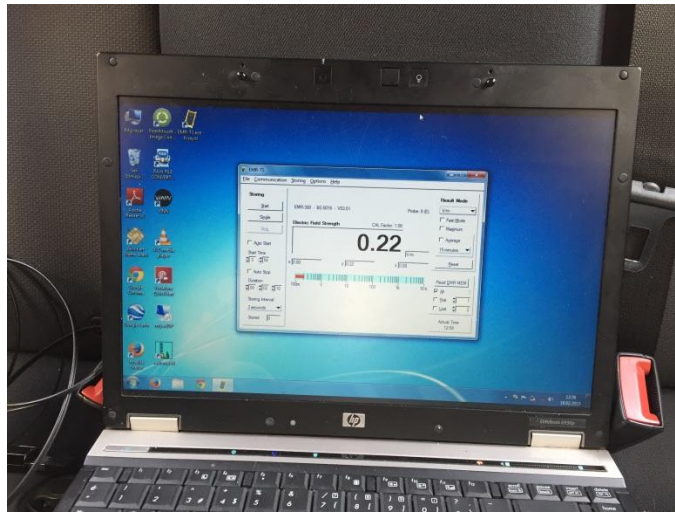
5.2.1.3 Ölçüm Düzenegi

Ölçümler, Şekil 5.7' de gösterilen düzenek ile yapılmıştır. EMR-300 cihazı ile alınan bu veriler optik kablo yardımı ile dizüstü bilgisayara aktarılmıştır. Optik kablo bir adaptör yardımı ile RS232 girişine bağlanmıştır.



Şekil 5.7: Elektrik alan ölçüm düzenegi

RS232 üzerinden alınan veriler Şekil 5.8' de ekran görüntüsü verilen EMR-TS yazılımı ile okunarak tablo halinde kaydedilmiştir.



Şekil 5.8: Ölçümde kullanılan EMR bilgisayar programının değer alırken alınan ekran görüntüsü

5.2.2 Ölçüm Yöntemi

Sayısal elektromanyetik alan haritasının oluşturulabilmesi için gerekli elektrik alan değerleri, Drive Test yöntemi ile ölçülmüştür.

Ölçümler Balıkesir ili şehir merkezinde ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nde 17-18 Şubat 2015 tarihlerinde, iki gün süreyle, birinci gün saat 11:00 ve 16:30, ikinci gün 10:00 ve 13:00 arasında yapılmıştır. Ölçülen değerler uluslararası halk maruziyet limitleri ile karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

5.2.2.1 Drive Test Yöntemi

Drive Test yöntemi cep telefonu şebekelerinde, servis kalitesinin (QoS), kapsama ve kapasite değerlerinin ölçümünde ve değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, verilen coğrafi alanda mobil ağ hava arayüzü ölçme ekipmanı taşıyan bir araçla ölçülür ve kaydedilmektedir [2].

Drive Test alan ölçümleri esnasına alınan veriler aşağıdaki gibi;

- Sinyal kalitesini
- Sinyal yoğunluğunu
- Girişimi
- Düşen aramaları
- Engellenen aramaları
- Arama istatistikleri servis seviye istatistikleri
- QoS bilgileri
- Aktarma bilgileri
- Komşu hücre bilgileri
- GPS konum koordinatları

gibi bilgileri içermektedir [2].

Bu çalışmada sayısal elektromanyetik alan haritası çıkartılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Drive Test yönteminden sinyal yoğunluğu ve GPS konum koordinat bilgilerinin kullanılması uygun görülmüştür. Ölçüm yapılır iken ortalama değerlerinin her örnek için 50 değer kuralına uygun olmasına dikkat edilmiştir.

Ölçüm yapılacak alanlar olabildiğince düzgün bölünmüş ızgaralar halinde dolaşmıştır. Bu sayede daha homojen bir yapı oluşturulmuştur. Ölçüm toplam 8,5 saat sürmüş ve 190 km yol kat edilmiştir. Ortalama iki nokta arası mesafe 7 metredir. Bu değerler sayısal harita üzerinde değerlendirilmiştir.

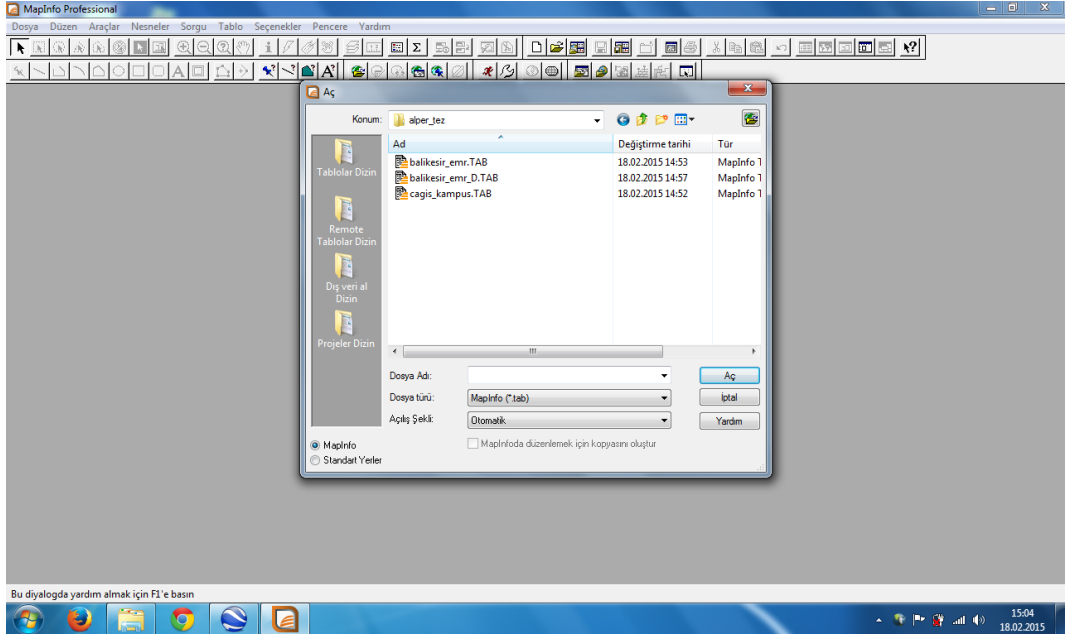
5.2.3 Sayısal Harita Gösterimi

Harita, yeryüzünün dar ya da geniş bir bölümünün coğrafi, jeolojik ve politik özelliklerini, bir ölçüğe bağlı olarak grafik yolla gösterimidir. Harita Mühendisliği Kartografya Ana Bilim Dalı, coğrafi mekânsal verilerin işlenmesi, analizi, sunumu ve harita oluşturulması üzerinde çalışmaktadır. Tematik kartografya ve coğrafi bilgi sistemi Kartografya Ana Bilim Dalı' nın çalışma alanına girmektedir [2].

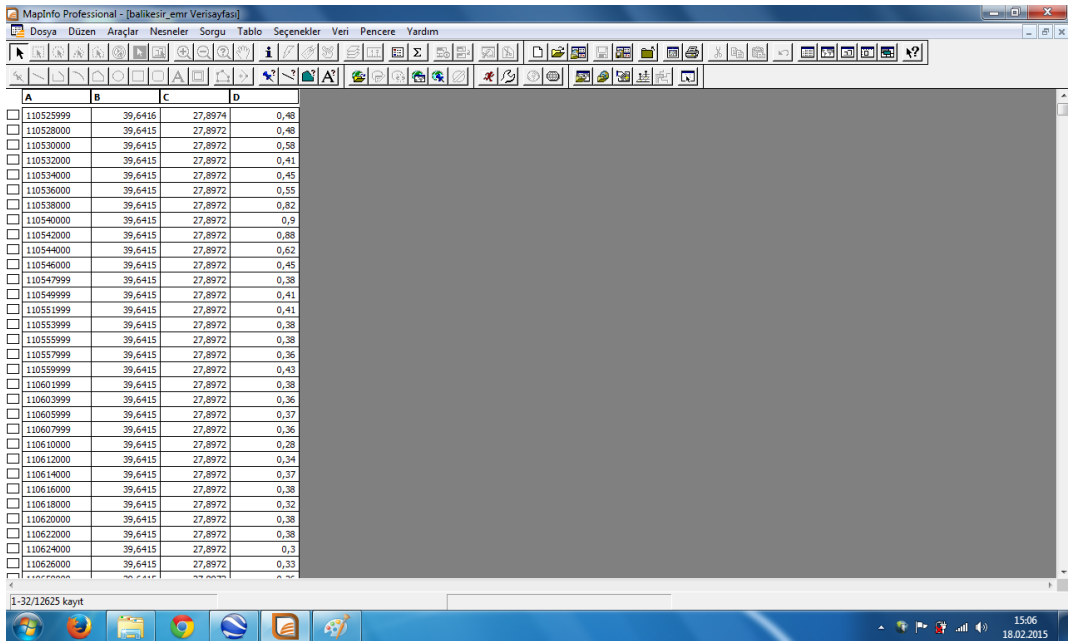
Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), dünya üzerindeki karmaşık sosyal, ekonomik, çevresel vb. sorunların çözümüne yönelik mekâna/konuma dayalı karar verme süreçlerinde kullanıcılara yardımcı olmak üzere, büyük hacimli coğrafi verilerin; toplanması, depolanması, işlenmesi, yönetimi, mekânsal analizi, sorgulaması ve sunulması fonksiyonlarını yerine getiren donanım, yazılım, personel, coğrafi veri ve yöntem bütünü olarak tanımlanmaktadır [34].

Bilgilerin konumsal bağımlılığına dikkat ederek işlenmesi tematik kartografi olarak tanımlanmıştır [35]. Bu çalışmada elektrik alan ölçümleri alınarak koordinat bilgileri doğrultusunda oluşturulmuş sayısal elektromanyetik kirlilik haritası tematik bir harita özelliği taşımaktadır. Bu çalışmada yer alan sayısal elektromanyetik kirlilik haritasının, Orman Bilgi Sistemi, Karayolları Bilgi Sistemi, Trafik Bilgi Sistemi vb. CBS uygulamaları gibi Elektromanyetik Kirlilik Bilgi Sistemi oluşturulmasında işlevsellik kazanması amaçlanmıştır [2].

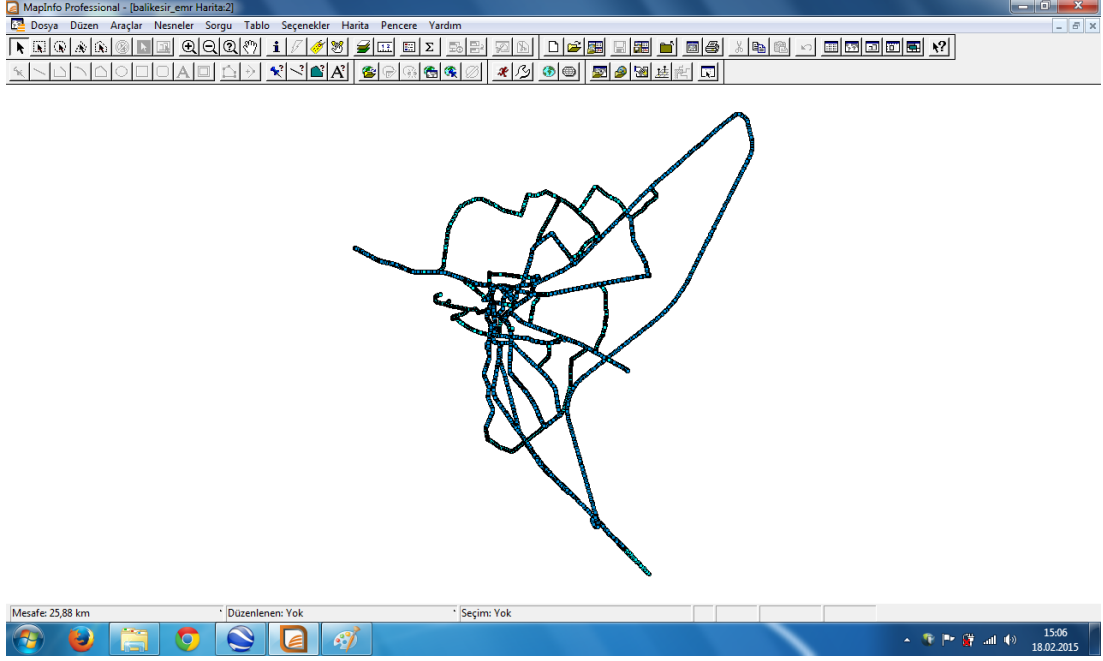
Bu çalışmada oluşturulan sayısal harita MapInfoProfessional yazılımı ile oluşturulmuştur [36]. Şekil 5.9' da tablo olarak kaydedilen koordinat ve elektrik alan değerleri, Şekil 5.10' da ise bu dosyanın içerisinde var olan konum, elektrik alan ve zaman değerleri gösterilmiştir. Bu değerler kullanılarak noktasal harita Mapinfo' da oluşturulmuştur. Oluşturulan noktasal harita Şekil 5.11' de gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Mapinfo yazılımında sayısal harita oluşturmak için tablo dosyasından veri alınması

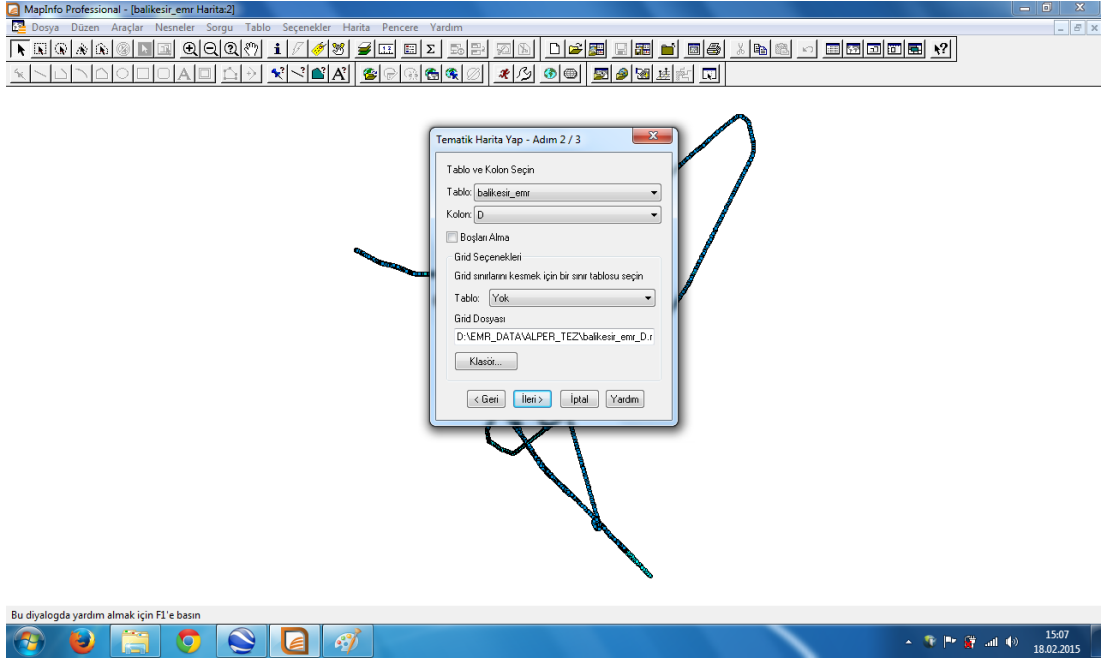


Şekil 5.10: Tablo dosyasından alınan koordinat ve elektrik alan değerlerinden noktasal harita oluşturma



Şekil 5.11: Mapinfo’ da oluşturulan nuktasal harita

Son olarak ise oluşturmuş olduğumuz nuktasal harita, Mapinfo yardımı ile Şekil 5.12’ de gösterilen işlem uygulanarak, tematik haritaya dönüştürülmüştür [36].



Şekil 5.12: Mapinfo yazılımı ile tematik harita oluşturma

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Elektromanyetik alan haritasının oluşturulması için Balıkesir ili şehir merkezinde ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nde iki gün süreyle 8.5 saat ve 190 km boyunca Drive Test Yöntemiyle ölçüm yapılmıştır.

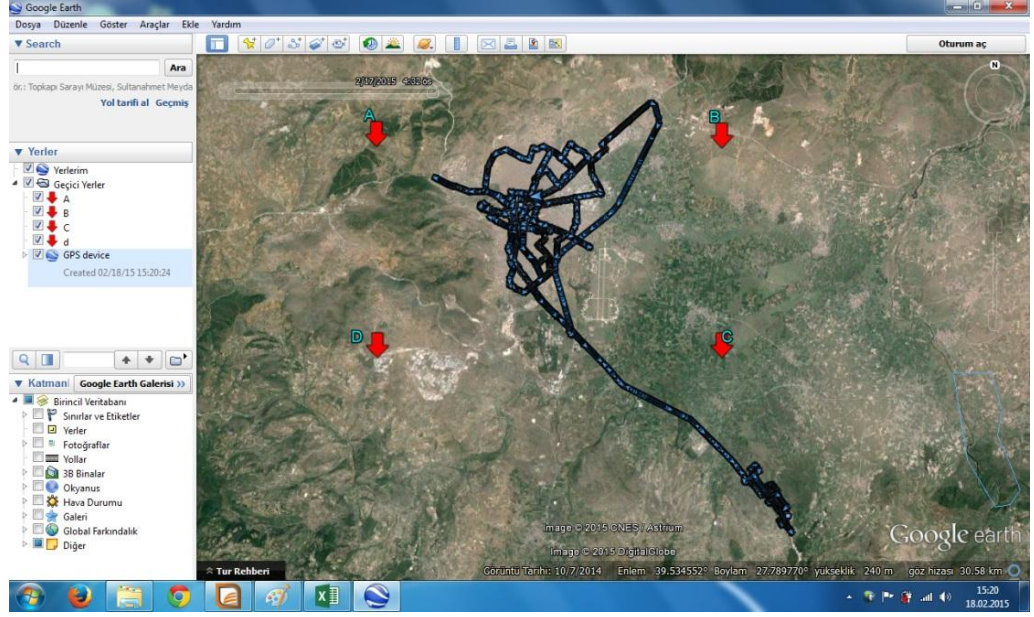
Ölçümler 100 kHz – 3 GHz frekans aralığındaki SAR değeri hesaplamasında kullanılan elektrik alan değerlerinden oluşmaktadır.

Balıkesir ili şehir merkezi için 12867 noktada, Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi içerisinde 1060 noktada değer alınmıştır. Alınan bu değerler MapInfo programı yardımı ile tematik haritalara dönüştürülmüştür. Bulgular ölçüm yapılan mevkilere göre değerlendirmeye alınmaya karar verilmiştir ve iki bölümde incelenmiştir.

6.1 Balıkesir İli Şehir Merkezi

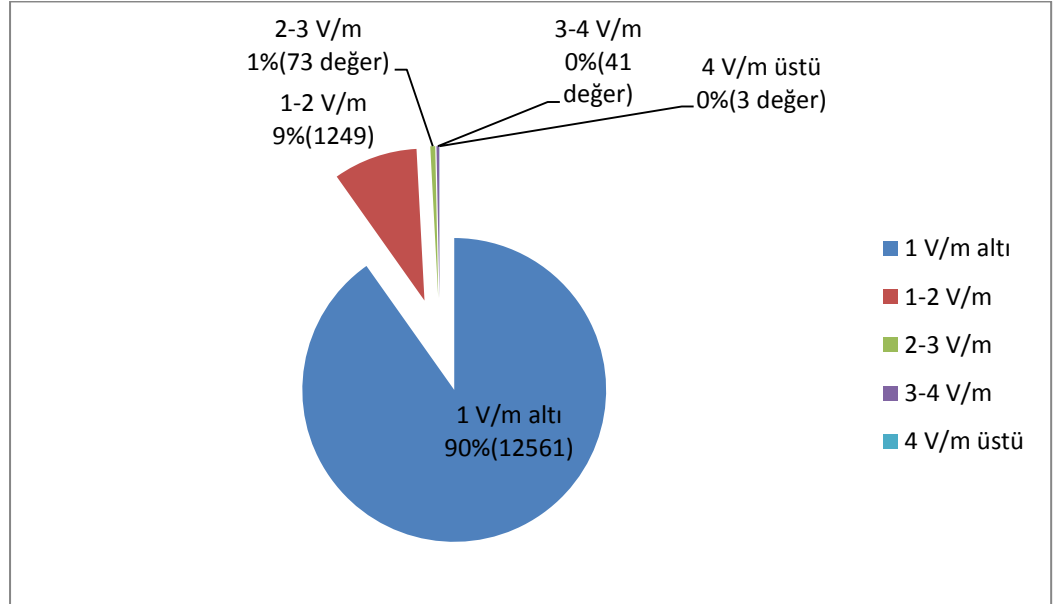
Balıkesir ili şehir merkezinde yapılan ölçümlerde amaçlanan kamuoyunun maruz kaldığı elektromanyetik alan seviyesinin belirlenmesi için ana yollarda, işlek caddeler ve ara sokaklarda halkın yoğun olduğu saatlerde ölçümler icra edilmiştir. Ölçüm değerleri, uluslararası halk sağlığı maruziyet değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirme yapılmıştır.

Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nde ölçüm yapılan noktaların Google Haritalar üzerinde gösterimi Şekil 6.1' de gösterilmiştir.



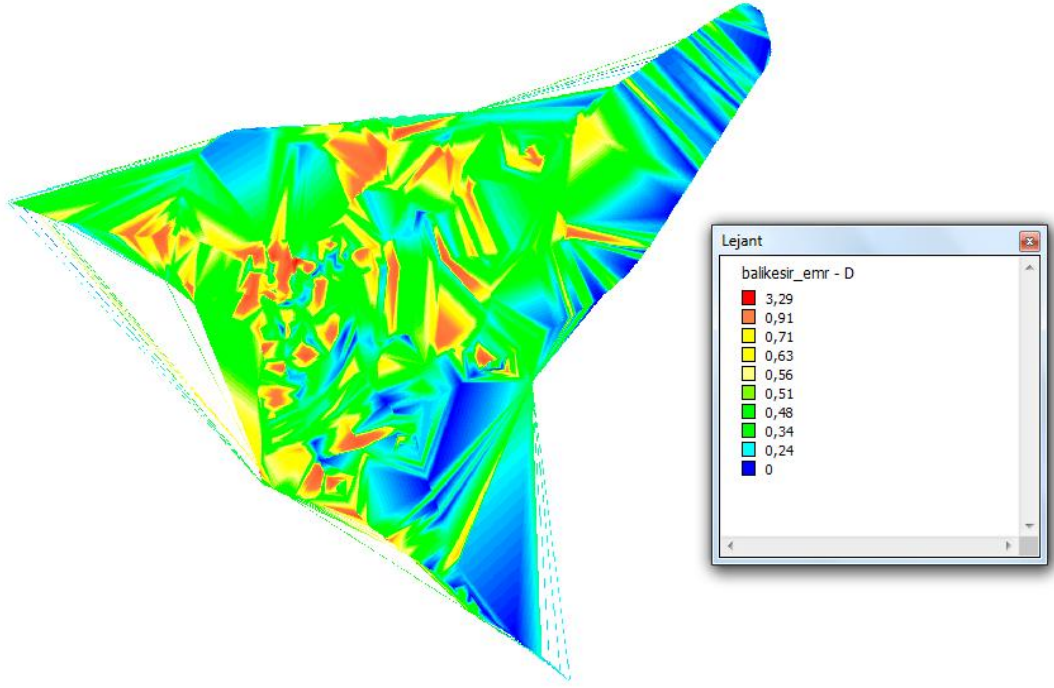
Şekil 6.1: Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nde ölçüm yapılan noktaların Google Haritalar üzerinde gösterimi

Balıkesir ili şehir merkezinde, üniversite yerleşkesi dahil olmak üzere 13927 noktada değer alınmıştır. Bu değerlerin dağılımı Şekil 6.2' de pasta grafik olarak verilmiştir.

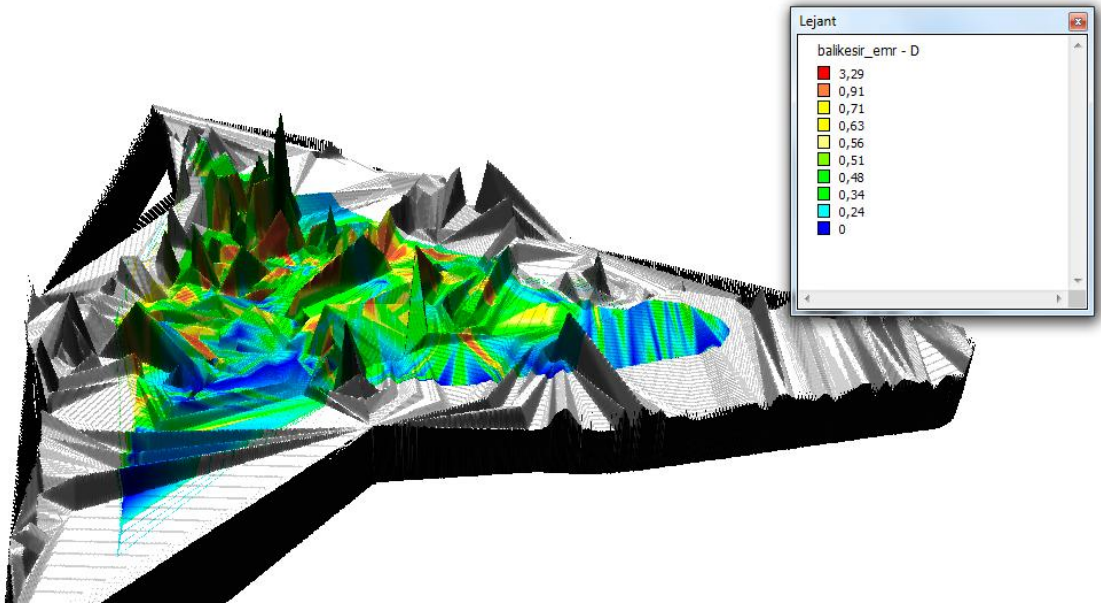


Şekil 6.2: Balıkesir ili şehir merkezinde yapılan ölçümlerin renklendirilmiş gösterimi

Bu değerler MapInfo programı ile tematik haritaya dönüştürülmüş ve Şekil 6.3' de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 6.4' de görüldüğü üzere üç boyutlu hale getirilmiştir.



Şekil 6.3: Balıkesir ili şehir merkezinin iki boyutlu elektromanyetik alan haritası



Şekil 6.4: Balıkesir ili şehir merkezinin üç boyutlu elektromanyetik alan haritası

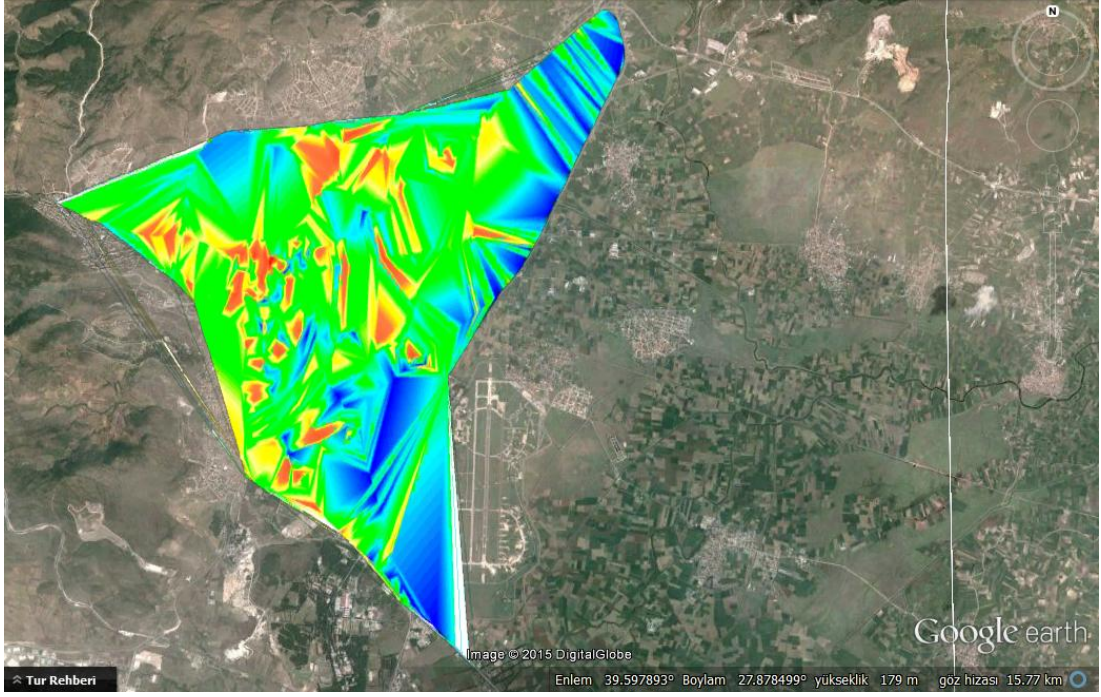
Balıkesir ili şehir merkezinde ölçülen değerlerin hiçbiri ulusal ve uluslararası halk maruziyet limitlerini geçmemektedir. Diğer taraftan ölçümler sonucu elektrik alan değeri 4 V/m 'nin üzerinde çıkan noktalar araştırılmıştır. Şekil 6.5' de Google Haritalar üzerinden bu noktalar yıldız imgesi ile işaretlenerek gösterilmiştir. Bu noktalar Balıkesir – Edremit yolu olarak da bilinen Doktor Ahmet Toprak Caddesi üzerinde ölçülmüştür.

Bu değerlerin ölçüldüğü mevkilerden tekrar geçilmiş ve 4 V/m 'nin altında bir ölçüm yapılmıştır. Ölçümdeki farklılığın çevredeki bazı istasyonlarının otomatik güç ayarlama tekniklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu otomatik güç ayarlamada kısa süreli yüksek güç yayılabildiği bilinmektedir.



Şekil 6.5: Balıkesir ili şehir merkezinde elektrik alan şiddeti 4 V/m 'yi aşan noktalar

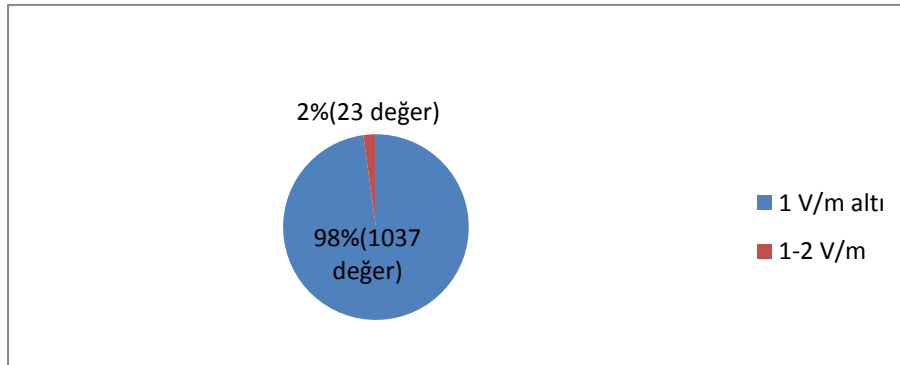
Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin kamuoyu tarafından anlaşılabilirliğini arttırmak maksadıyla Şekil 6.6' da görüldüğü şekilde renklendirilerek Google Haritalar üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.6: Balıkesir ili şehir merkezinin Google Haritalar’ da üzerinde gösterilmiş elektromanyetik alan haritası

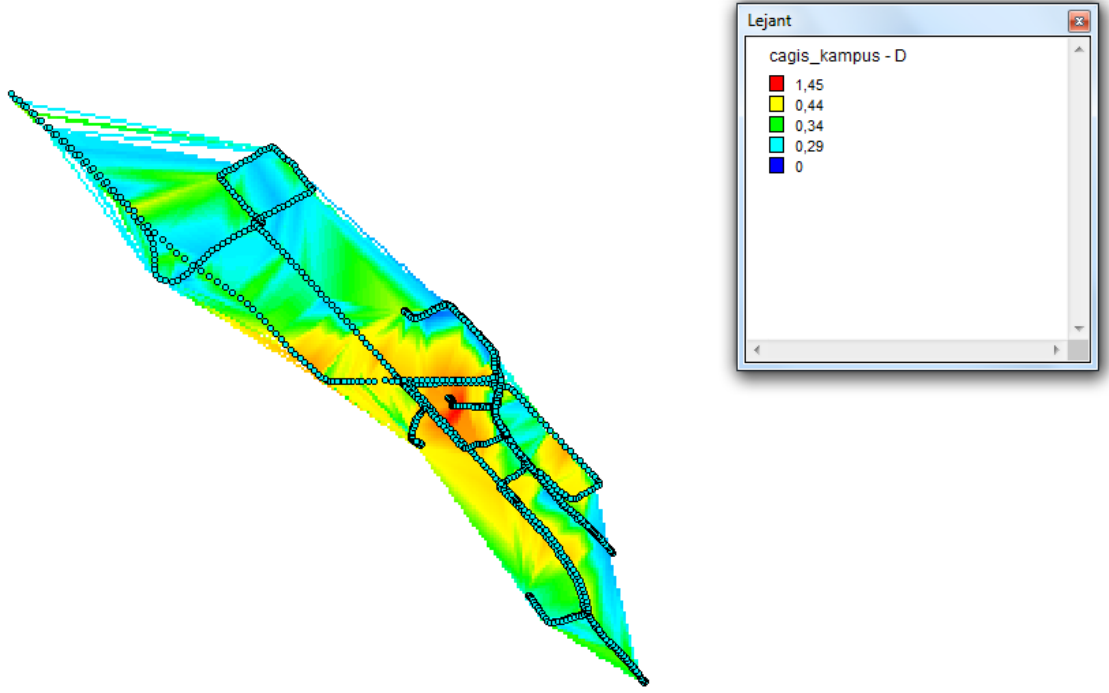
6.2 Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi

Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi’ nde 1060 noktadan değer alınarak oluşturulmuş ve pasta grafik şekline getirilmiş sonuçlar Şekil 6.7’ de gösterildiği şekildedir. Pasta Grafikte görüldüğü üzere ölçüm sonuç değerlerinin 2 V/m’ yi aşmaması sevindiricidir.



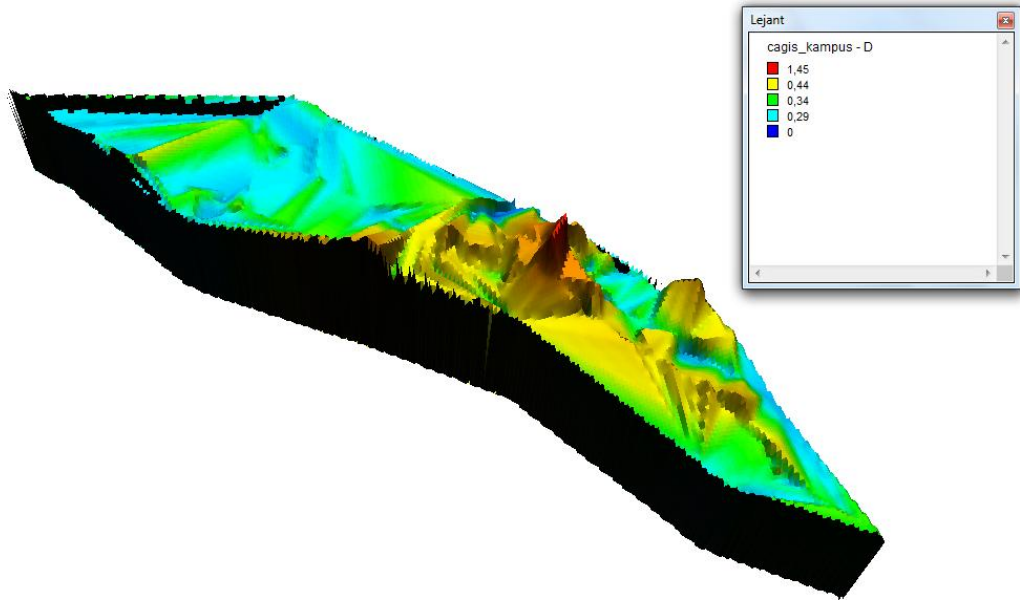
Şekil 6.7: Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi’ nde yapılan ölçümlerin renklendirilmiş gösterimi

Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi içerisinde yapılan ölçümler, MapInfo programı ile Şekil 6.8’ de sunulan tematik haritaya dönüştürülmüştür. Haritanın lejantı harita içerisinde verilmiştir. Haritada kırmızı renkli bölge BAÜ MYO civarındır. Kırmızı ile gösterilmiş olsa da ölçüm değerleri ulusal ve uluslararası sınır değerlerinin çok altındadır.



Şekil 6.8: Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi elektromanyetik alan haritası

Şekil 6.8’ de sunulan iki boyutlu elektromanyetik alan haritası, Şekil 6.9’ da üç boyutlu bir görsel haline getirilmiştir. Bu harita üzerinde BAÜ MYO civarının elektrik alan farkı bariz bir şekilde gözükmektedir.



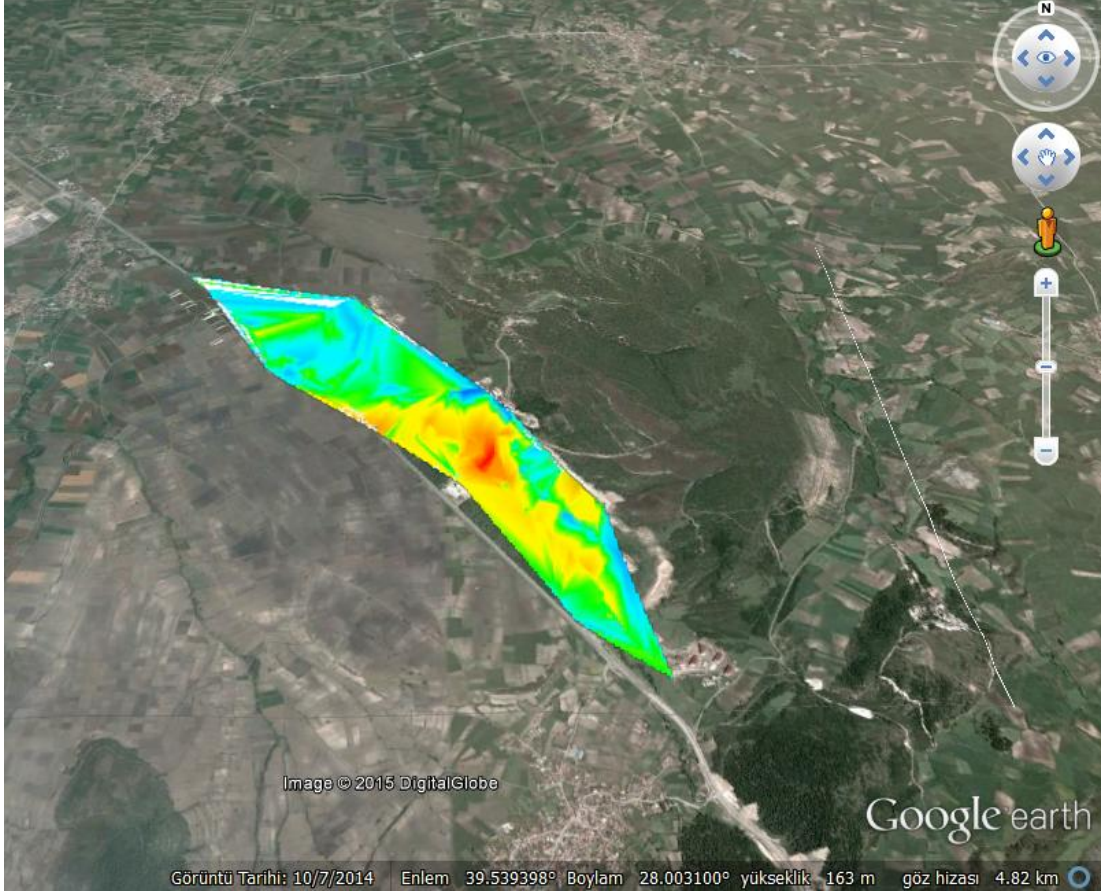
Şekil 6.9: Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi üç boyutlu elektromanyetik alan haritası

Ölçümler sonucunda elektrik alan değeri 1 V/m ' nin üzerinde olan noktalar araştırılmış ve Google Haritalar üzerinde yıldız imgesi ile işaretlenerek Şekil 6.10' da sunulmuştur.



Şekil 6.10: Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi elektrik alan değeri 1 V/m ' yi aşan noktalar

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin kamuoyu tarafından anlaşılabilirliğini arttırmak amacıyla Şekil 6.11’ de görüldüğü şekilde renklendirilerek Google Haritalar üzerinde gösterilmiştir. Bu sayede yerleşkede yaşayan öğretmen, öğrenci, görevliler ortalama maruz kaldıkları elektrik alan şiddeti konusunda bilgilendirilmiştir.



Şekil 6.11: Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi’ nin Google Haritalar üzerinde gösterilmiş elektromanyetik alan haritası

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nin 100 KHz – 3 GHz frekans aralığında, Drive Test yöntemi kullanılarak, elektrik alan ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarından elde edilen değerler ile renklendirilmiş elektromanyetik alan haritaları oluşturulmuştur.

Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, Balıkesir ili şehir merkezinde 4 V/m' nin üzerinde değere sahip 3 ölçüm görülmüştür. Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nde ise 2 V/m' nin üzerinde değer ölçülmemiştir. Bu değerler ulusal ve uluslararası sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, limit değerlerin çok altında olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, elde edilen ölçüm değerlerinin ortalaması hesaplandığında, ölçüm yapılan yerlerin ortalama elektrik alan değeri 0.5 V/m olarak hesaplanmıştır.

Ölçüm sonuçlarına göre, Balıkesir ili şehir merkezinde elektrik alan şiddeti değeri 4 V/m üzerinde değer alınan noktaların bulunduğu bölge incelendiğinde, özellikle apartmanların üzerine konuşlandırılmış baz istasyonlarının varlığı tespit edilmiştir. Bu tespitler fotoğraflanıp Şekil 7.1' de gösterilmiştir. Diğer taraftan, Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi içerisinde elektrik alan şiddeti değeri 1 V/m üzerinde ölçüm değeri alınan noktaların bulunduğu bölge incelendiğinde ise bölgeye çok yakın olan baz istasyonların varlığı fotoğraflanarak Şekil 7.2' de sunulmuştur.

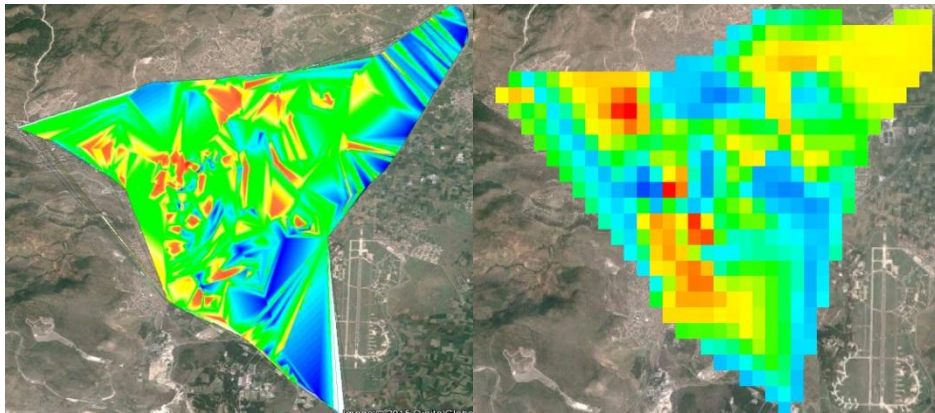


Şekil 7.1: Balıkesir ili şehir merkezinde elektrik alan şiddeti değeri 4 V/m üzerinde ölçüm alınan bölgede bulunan baz istasyonları



Şekil 7.2: Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nde elektrik alan değeri 1 V/m üzerinde ölçüm alınan bölgede bulunan baz istasyonları

Tez çalışması sonrasında Drive Test yöntemi kullanılarak elde edilen elektrik alan değerleri ile oluşturulan Balıkesir ili şehir merkezi elektromanyetik alan haritası, BTK tarafından belirli periyotlarda baz istasyonları kaynaklı oluşan elektromanyetik alanın tespiti amacıyla yaptığı ölçüm sonuçlarından elde edilen değerler ile oluşturulan harita ile karşılaştırılmıştır. Bu haritalar Şekil 7.3' te verilmiştir. Karşılaştırma sonucunda, elektromanyetik alan haritaları arasında bölgesel farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların oluşmasına iki temel unsur neden olmuştur. Birincisi, ölçüm yöntemlerinin farklı olması. İkincisi ise, ortamdaki elektromanyetik alan değerinin sürekli değişkenlik gösteriyor olması olarak ifade edilebilir.



Şekil 7.3: Balıkesir ili şehir merkezi elektromanyetik alan haritaları

Öneriler, devlet kurum ve kuruluşları düzeyinde ve bireysel olarak olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

Devlet kurum ve kuruluşları düzeyinde alınması gereken önlemler:

- Toplum elektromanyetik alanlar ve insan sağlığına etki edebilecek olası etkileri konusunda bilgilendirilmelidir.
- Uzun süreli cep telefonu kullanımının uygun bir yaklaşım olmadığı ilgili kurum ve kuruluşların önderliğinde yapılacak kampanyalar ile topluma anlatılmalıdır.
- Zararı net olarak saptanmamış olsa bile bilimsel belirsizliğin olduğu durumlar için uygulanması gereken ihtiyat ilkesi gereği, ulusal standart ve sınır değerleri katılaştırılmalıdır.
- Konuyla ilgili yapılacak bilimsel çalışmalar teşvik edilmeli, kamuoyu sonuçlar hakkında bilgilendirilmelidir.
- Okul, hastane vb. yerlerin periyodik olarak elektromanyetik alan ölçümleri yapılmalıdır.
- Baz istasyonlarının kamufle edilmesi yerine, bölgede baz istasyonu olduğuna işaret edecek, SAR ve güç değerlerinin belirtildiği uyarıcı levhaların kullanımına geçilmelidir.
- Toplum baz istasyonlarının yerlerini hakkında bilgilendirilmeli ve ilgili baz istasyonlarında yapılan ölçüm değerlerine ulaşabilmelidir.
- Baz istasyonlarının üniversiteler veya meslek kuruluşları tarafından habersiz kontrol edilebilmesine yönelik yasal düzenlemeler yapılmalıdır.
- Elektromanyetik alan kaynağı cihazların üzerinde, SAR değerleri belirtilmelidir.

Bireysel olarak alınması gereken önlemler:

- Cep telefonları ile uzun süreli konuşmalardan kaçınılmalı, eğer mümkünse kablolu kulaklık kullanılmalıdır.
- SAR değeri düşük cep telefonları tercih edilmelidir.

- Hamilelerin, çocukların ve bebeklerin yanında mümkün mertebe cep telefonu ile görüşme yapılmamalıdır.
- Elektrikli cihazların işi bittiğinde, elektrik bağlantısı kesilmelidir.
- Yeni bir eve taşınıldığında yakın çevredeki baz istasyonlarının yayın yönleri kontrol edilmeli ve mümkün olduğunca baz istasyonlarının gölgesinden uzak bölgelere yerleşilmelidir.
- Kablosuz modemlerin uyku kalitesini zayıflattığı yönünde çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu bağlamda, uyuyorken evdeki kablosuz modemler ve yönlendiriciler kapatılmalıdır.
- TV, Bilgisayar, Dect telefonlar, WLAN Wi-Fi kablosuz erişim sistemleri, bluetooth kulaklıklar, bebek monitörleri, tasarruflu ampuller ve mikradalga fırınlar şeklinde ifade edebileceğimiz elektromanyetik alan kaynağı olan cihazların kullanımına dikkat edilmeli ve emniyet tedbirleri uygulanmalıdır.

8. KAYNAKLAR

- [1] Çerezci, O., Kartal, Z., Pala, K. ve Türkkın, A., *Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri*, Bursa: F. Özsan Matbaacılık, (2012).
- [2] Polat, A. Ö., “Karaman İli Şehir Merkezi Ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesi’ nin Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, (2013).
- [3] Tekintanğaç, Y., “Cep Telefonları Tarafından Oluşturulan Elektromanyetik Alanın Kobay EKG’si Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Van, (2006).
- [4] Cesur, G., “900 MHz Dalga Frekanslı Elektromanyetik Alanın Ratlarda Oluşturduğu Hormonal Değişiklikler”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2004).
- [5] İlhan, M.N., “Bir Tıp Fakültesi Hastanesinde Elektromanyetik Alan Haritası Çıkarılması ve Sağlık Çalışanlarında Sağlık Etkilerinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2008).
- [6] http://www.balikesir.edu.tr/index.php/baun/genel_bilgiler, (2015).
- [7] Pericle, “Drive Test Guidelines”, <http://www.pericle.com/papers/DriveTestGuidelines100105.pdf>, (2013).
- [8] Hardell, L. and Sage, C., “Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards”, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 62(2):104-109, (2008).

- [9] Elhasoğlu, D., “Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2006).
- [10] Bertocco, M., “A Measurement System for the Evaluation of Environmental Electromagnetic Field”, USA, (2002).
- [11] Paolino, L., Sebillo, M., Tortora, G. and Vitiello, G., “Monitoring Electromagnetic Pollution: A GIS-Based Visual Approach”, MDIC 2001 (Editör: Tucci, M.), Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 90-101, (2001).
- [12] Paksoy K.,” Elektromanyetik kirlilik, etkileri, korunma ve yararlanma yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (2001).
- [13] Önal, E., “Elektromanyetik Alanların Canlı Organizmalara Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, (2005).
- [14] Henderson, S.I. and Bangay, M. J., “Survey of RF exposure levels from mobile telephone base stations in Australia”, *Bioelectromagnetics*, 27(1): 73-76, (2006).
- [15] Özgümüş B., "Zonguldak Kent Merkezinin 100 kHz - 3 GHz Frekans Bandında Elektromanyetik Kirliliğin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, (2010).
- [16] Uygunol O. ve Durduran S.S., "Elektromanyetik Kirlilik Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımı ile Oluşturulması: Konya Örneği", *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, sayı 102, (2010).
- [17] Cansız, M., “Diyarbakır İl Merkezinin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması Ve Durum Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, (2010).

- [18]Sorgucu, U., “Erciyes Üniversitesi Kampüsünde Gsm900 Ve Gsm1800 Şebekelerinin Oluşturduğu Elektromanyetik Kirliliğin Ölçülmesi Ve Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (2011).
- [19]Arslantaş, N., “Elektromanyetik Alan (EA) Şiddetinin Okul Ve Sağlık Kuruluşları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Teknik Uzmanlık Tezi, *Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu*, Ankara, (2012).
- [20]İnce, T., “Elektromanyetik Kirlilik”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).
- [21]Nora, D. V., Dardo, T., Wang, G. and Vaska, P., “Effects of Cell Phone Radiofrequency Signal Exposure on Brain Glucose Metabolism”, *The Journal of American Medical Association*, 305(8):808-813, (2011).
- [22]Wikipedia, “Elektromanyetik Tayf”,
http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_tayf (2015).
- [23]Kavas, A., “Elektromanyetik Kirlilik ve Standartlar”, İstanbul Sanayi Odası Çevre Yayınları, İstanbul, 8 s., (2002).
- [24]Markov, M., “Physics and Engineering Approaches Toward Environmental Importance of Electromagnetic Fields”, *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Rio de Janeiro Brazil, Physics in Medicine & Biology, Vol.39.a Part I*, 46, (1994).
- [25]Coşkun, Ö., Çömlekçi, S., Nazıroğlu, M. ve Özkorucuklu, S., “Manyetik Alanın Sıçanlardaki Sinir İleti Parametrelerine Etkileri”, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2): 186-192, (2009).
- [26]Feychting, M. and Ahlbom, A., ”Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage Power Lines”, 467-481, (1993).

- [27] Frey, A., “On the Nature of Elektromagnetic Field Interactions with Biological Systems”, Austin, USA, (1994).
- [28] Li, C.Y., “Residential exposure to 60- Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan”. *Epidemiology* 8:25-30, (1997).
- [29] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), “Guidelines for Limiting exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)”, *Health Physics Society*, 74(4):494-522, (1999).
- [30] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik”, <http://tk.gov.tr/mevzuat/yonetmelikler/dosyalar/ehc.pdf>, (05.04.2015).
- [31] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik”, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/07/20100724-3.htm>, (05.04.2015).
- [32] Uçar, N., “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, (2009).
- [33] Narda, “EMR-300 Ölçüm Cihazı”, http://www.nardasts.us/pdf_files/DataSheets/EMR300_DataSheet_Discontinued.pdf (2015).
- [34] Vikipedi Ansiklopedi, “Coğrafi bilgi sistemi”, http://tr.wikipedia.org/wiki/Co%C4%9Frafi_Bilgi_Sistemleri (2015).
- [35] Mapinfo, “MapInfoProfessional”, <http://www.mapinfo.com> (2015).

- [36] Mapinfo, "MapInfo Professional 11.0 User Guide", Pitney Bowes, New York, 578s., (2011).
- [37] Jernegan, M. W., *Benjamin Franklin's "Electrical Kite and lightning rod"*, The New England Quarterly, (1928).
- [38] Taborda, R. A. M., Vanella, O. R. and Sabella, M., "Mobile Non Ionizing Radiation Measurement System", L.I.A.D.E. - F.C.E.F.yN. Universidad Nacional de Córdoba, Av. V. Sarsfield 1600, Ciudad Universitaria - Córdoba, Argentina, (2010).