

TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN YAYDIĞI ELEKTRİKSEL ALANDAN
KAYNAKLANAN ELEKTROMANYETİK RADYASYON (EMR)
VE İNSAN SAĞLIĞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elgin ZORLU

Elektrik ve Bilgisayar Anabilim Dalı
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Programı

ARALIK 2015

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN YAYDIĞI ELEKTRİKSEL ALANDAN
KAYNAKLANAN ELEKTROMANYETİK RADYASYON (EMR)
VE İNSAN SAĞLIĞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Elgin ZORLU
1303620034**

**Elektrik ve Bilgisayar Anabilim Dalı
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa Cenk ERTÜRK

ARALIK 2015

Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1303620034 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Elgin ZORLU ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN YAYDIĞI ELEKTRİKSEL ALANDAN KAYNAKLANAN ELEKTROMANYETİK RADYASYON (EMR) VE İNSAN SAĞLIĞI başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.



Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Cenk ERTÜRK
Türk Hava Kurumu Üniversitesi



Jüri Üyeleri:

Yrd. Doç. Dr. Engin DEMİR
Türk Hava Kurumu Üniversitesi



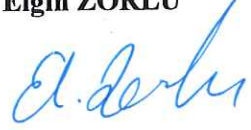
Yrd. Doç. Dr. İbrahim MAHARİQ
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 24.12.2015

TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN YAYDIĞI ELEKTRİKSEL ALANDAN KAYNAKLANAN ELEKTROMANYETİK RADYASYON (EMR) VE İNSAN SAĞLIĞI adlı çalışmamın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

24.12.2015
Elgin ZORLU



TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve bilimsel temeller ışığında şekillendirilmesinde, engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, tez danışmanım ve çok değerli hocam Yrd.Doç.Dr.Mustafa Cenk ERTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunma komitemde bulunan sayın hocalarım Yrd.Doç.Dr.Engin DEMİR ve Yrd.Doç.Dr.İbrahim MAHARİQ'a ilgi ve desteklerini esirgemedikleri için teşekkür ederim.

Bilgi, deneyim ve manevi desteğini esirgemeyen kayınbiraderim ve sevgili ağabeyim Yrd.Doç.Dr.Bahadır ELMAS'a, tezin yazım aşamasında değerli vakitlerini ayırarak bana destek veren ve yol gösteren kadim dostum, saygıdeğer ağabeyim Dr.Lokman İLBİLGİ'ye çok teşekkür ederim.

Tezin uygulama aşamasında ellerindeki verileri bizimle paylaşarak yaptığımız hesaplamaların doğrulanmasında yardımcı olan Gazi Üniversitesi Non-İyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi (GNRK)'ne teşekkür ederim.

Tezin yazımı süresince beni tezimin yazımına odaklayan ve yazım sürecinin hızlanmasını sağlayan sevgili eşim Neslihan ZORLU'ya, bugünlere gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen babam Ünal ZORLU, annem Jale ZORLU'ya ve son olarak hayat ışığım, biricik oğlum Ünal Çağan'ıma teşekkür ederim.

Aralık, 2015

Elgin ZORLU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜRLER.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLolar.....	vi
ŞEKİLLER.....	viii
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
BİRİNCİ BÖLÜM	1
1. GİRİŞ.....	1
İKİNCİ BÖLÜM.....	4
2. ANTEN KAVRAMI ve ÖZGÜL SOĞURULMA ORANI (SAR).....	4
2.1. Giriş Empedansı.....	5
2.2. Duran Dalga Oranı (DDO).....	5
2.3. Işıma Gücü ve Direnci	5
2.4. Anten Verimi	6
2.5. Yakın Alan-Uzak Alan	6
2.6. Işıma Diyagramları ve Polarizasyon	6
2.7. Yöneltilik, Kazanç, Etkin Yüzey ve Demet Genişliği	6
2.8. Anten Faktörü	7
2.9. Elektrik ve Manyetik Dipoller	7
2.9.1. Tipik EMC Dipolleri	8
2.10. Güç Yoğunluğu	9
2.10.1. Güvenlik Mesafesi Hesaplanması	10
2.10.2. Özgül Soğurulma (Emilim) Oranı (SAR)	11
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	15
3. ELEKROMANYETİK RADRASYON (EMR)	15
3.1. Elektromanyetik Radyasyon için Kullanılan Terimler ve Tanımları....	15
3.2. Radyasyon ve Türleri.....	19
3.2.1. İyonlaştırıcı (İyonize Eden) Radyasyon	19
3.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan (İyonize Etmeyen) Radyasyon	19
3.2.2.1. Düşük Frekanslı EM Işınım (0 Hz – 10 kHz)	20

3.2.2.2. Yüksek Frekanslı EM Işınım (10 kHz – 300 GHz) ..	21
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	22
4. EMR SINIR DEĞERLERİ VE SAĞLIK ETKİLERİ	22
4.1. GSM (Mobil Telefon) Sistemi	22
4.2. Elektromanyetik Dalgaların Biyolojik Etkileri.....	25
4.3. Uluslararası Kuruluşlar ve Belirlenen SAR Limit Değerleri.....	28
4.4. Düzlem Dalga Gücü Yoğunluğu.....	32
4.5. Elektriksel Alan Güvenli Maruziyet Sınır Değerleri	34
4.6. Etki Mekanizması	37
4.7. Cep Telefonları ve Sağlık Etkileri	38
4.8. Radyo Frekansının Doğrudan Etkileri	39
4.8.1. Sık Görülen Semptomlar	39
4.8.2. Üreme Üzerinde Etkiler.....	39
4.8.3. Kalp ve Kan Damarları Üzerinde Etkiler	40
4.8.4. Malignite Üzerinde Etkiler.....	40
4.8.5. Katarakt Üzerinde Etkiler.....	41
4.8.6. Semptomlara Genel Bakış	41
4.9. Dolaylı Sağlık Etkileri	45
BEŞİNCİ BÖLÜM	46
5. SENARYOLAR VE SINIR DEĞER HESAPLAMALARI	46
5.1. Cihazların Elektriksel Alan Değerleri.....	46
5.1.1. Cep Telefonu	46
5.1.1.1. Bekleme Durumu	46
5.1.1.2. Arama Durumu.....	46
5.1.1.3. Konuşma Durumu	47
5.1.1.4. Aranma Durumu.....	47
5.1.1.5. SMS Gönderme Durumu.....	47
5.1.1.6. MMS Gönderme Durumu	48
5.1.2. Modem.....	51
5.1.3. Bilgisayarlara Takılan WLAN Kablosuz Erişim Kartı	52
5.1.4. Bluetooth Sistemleri	53
5.2. Elektriksel Alana Maruz Kalınan Ortamlara Ait Senaryolar	54
5.2.1. SENARYO – I (Kişisel Çalışma Masası).....	54

5.2.2. SENARYO – II (Ofis Ortamı).....	57
5.2.3. SENARYO – III (Toplu Taşıma Araçları).....	60
5.2.4. SENARYO – IV (Servisler).....	64
5.2.5. SENARYO – V (Salonlar).....	69
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR.....	77
EKLER.....	87
Ek A Elektromanyetik Radyasyon (EMR) / Elektromanyetik Radyasyonun Biyolojik Etkileri / Elektromanyetik Radyasyon Standartları ile ilgili Ulusal ve Uluslararası Kurumlar ve Web Adresleri	88
ÖZGEÇMİŞ.....	92

TABLolar

Tablo 2.1 Tel Çevresindeki Elektromanyetik Sızıntı.....	9
Tablo 2.2 İnsan Dokusunun Elektriksel Özellikleri.....	12
Tablo 4.1 İnsan Kafatasındaki Tipik Dokular ve Parametreler.....	29
Tablo 4.2 Mesleki Alanlar için SAR Limitleri (ICNIRP).....	31
Tablo 4.3 Kamusal Alanlar için SAR Limitleri (ICNIRP).	31
Tablo 4.4 Güç Yoğunluğu Hesabında Kullanılan Fiziksel Büyüklükler	32
Tablo 4.5 Mesleki Alanlarda Ortam Güvenlik Değerleri (ICNIRP).	34
Tablo 4.6 Kamusal Alanlarda Ortam Güvenlik Değerleri (ICNIRP).	34
Tablo 4.7 Mesleki Alanlarda Güvenlik Değerleri (FCC).....	35
Tablo 4.8 Kamusal Alanlarda Güvenlik Değerleri (FCC)	35
Tablo 4.9 900 MHz için Kontrolsüz Etkilenme Sınır Değerleri	35
Tablo 4.10 1800 MHz için Kontrolsüz Etkilenme Sınır Değerleri	35
Tablo 4.11 Düzlem Dalga Gücü Yoğunlukları (ICNRP).....	36
Tablo 4.12 Düzlem Dalga Gücü Yoğunlukları (ANSI/IEEE).	36
Tablo 4.13 Düzlem Dalga Gücü Yoğunlukları (FCC).	36
Tablo 4.14 Bazı Cihazlardan Yayılan Elektrik Alan ve Manyetik Alan Değerleri. ..	41
Tablo 5.1 GSM Cihazların Ölçüm Sonuçları.....	48
Tablo 5.2 Mesafeye Bağlı Ortalama EA Değerleri (Cep Telefonu)	49
Tablo 5.3 Mesafeye Bağlı Ortalama EA Değerleri (WLAN Modem).....	51
Tablo 5.4 Mesafeye Bağlı Ortalama EA Değerleri (WLAN)	52
Tablo 5.5 Mesafeye Bağlı Ortalama EA Değerleri (Bluetooth Sistemi)	53
Tablo 5.6 Modem, WLAN Kartı, Bluetooth ve Cep Telefonunun EA Değerleri.....	54
Tablo 5.7 Çalışma Masası için Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Değişimi (Konuşma).....	55
Tablo 5.8 Çalışma Masası için Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Değişimi (Bekleme).....	56
Tablo 5.9 Ofisteki Çalışanın Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma).....	58
Tablo 5.10 Ofisteki Çalışanın Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme).....	59
Tablo 5.11 Araçtaki Yolcunun Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma).	60
Tablo 5.12 Araçtaki Yolcunun Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme).....	61
Tablo 5.13 Araçtaki Sürücünün Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma).....	62

Tablo 5.14 Araçtaki Sürücünün Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme).....	63
Tablo 5.15 Servisteki Yolcunun Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma)....	64
Tablo 5.16 Servisteki Yolcunun Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme)	65
Tablo 5.17 Servisteki Sürücünün Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma)...	67
Tablo 5.18 Servisteki Sürücünün Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme)....	68
Tablo 5.19 Katılımcıda Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Modemsiz-Konuşma)	69
Tablo 5.20 Katılımcıda Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Modemsiz-Bekleme).	70
Tablo 5.21 Katılımcıda Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Modemli-Konuşma)..	71
Tablo 5.22 Katılımcıda Beyin Sıvısı İçin Sıcaklık Değişimi (Modemli-Bekleme)...	72
Tablo 6.1 Benzetim Ortamlarındaki Maksimum Elektriksel Alan Değerlerine Karşılık Hesaplanan SAR ve En Yüksek Süredeki Maruziyetlerde Meydana Gelen Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı.....	75

ŞEKİLLER

Şekil 2.1 Çubuk Anten ve Oluşturduğu Elektrik Alan Dağılımı.	4
Şekil 2.2 Elektrik Dipol ve Manyetik Dipol.	8
Şekil 2.3 Elektrik Dipollerin ve Manyetik Dipollerin Davranışları.	8
Şekil 2.4 Dokularda Yutulan Radyasyon Modellenmesi.	13
Şekil 2.5 SAR Simülasyon Sonuçları (Düşey Kesit-Yatay Kesit).	13
Şekil 2.6 SAR için Elektrik Alan Şiddeti Olarak Türetilmiş Değerler.	14
Şekil 3.1 Tipik Bir Horn Anten.	17
Şekil 3.2 Yönsüz Anten için Örnek Işıma.	18
Şekil 3.3 Yönlü Anten için Örnek Işımalar (Dar Açılı Işıma-Geniş Açılı Işıma).	18
Şekil 4.1 Hücreyel Yerleşim ve Frekans Grupları.	22
Şekil 4.2 GSM Sistemlerinin Çalışma Frekansları.	23
Şekil 4.3 GSM Sistemlerinin Çalışması (Uplink – Downlink).	24
Şekil 4.4 GSM Sinyali Dalga Formu	24
Şekil 4.5 EMD'nin Etkileri ile İlgili Yapılan Çalışmalar	26
Şekil 4.6 Sınır Değerleri Belirleyen Uluslararası Kuruluşlar.	28
Şekil 4.7 Frekansa Göre SAR Değişimi.	30
Şekil 4.8 Labaratuvarında Bilgisayar Simülasyonu ile EA Ölçümü.	30
Şekil 4.9 Ana İstasyondan Uzaktaki Bir Noktada Güç Yoğunluğu Ölçümü.	32
Şekil 4.10 FCC Tarafından Belirlenen Maksimum Düzlem Dalga Gücü Değerleri.	34
Şekil 5.1 Örnekleme Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (Bekleme).	46
Şekil 5.2 Örnekleme Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (Arama).	47
Şekil 5.3 Örnekleme Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (Konuşma).	47
Şekil 5.4 Örnekleme Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (Aranma).	47
Şekil 5.5 Örnekleme Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (SMS).	48
Şekil 5.6 Örnekleme Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (MMS)	48
Şekil 5.7 Cep Telefonu Kullanımında Yayılan Elektrik Alanın Mukayesesi.	49
Şekil 5.8 Cep Telefonu Mesafe-EA Grafiği Ölçüm Değerleri.	49
Şekil 5.9 Cep Telefonu Mesafe-EA Grafiği Eğri Uydurma.	50
Şekil 5.10 Cep Telefonu Bekleme Anı için Eğri Uydurma Denklemi.	50

Şekil 5.11 Cep Telefonu Konuşma Anı için Eğri Uydurma Denklemi.....	50
Şekil 5.12 WLAN Modemin Mesafe-EA Grafiği Ölçüm Değerleri.	51
Şekil 5.13 WLAN Modem için Eğri Uydurma Denklemi.	52
Şekil 5.14 WLAN Kablosuz Erişim Kartı Mesafe-EA Grafiği Ölçüm Değerleri.....	52
Şekil 5.15 WLAN Kablosuz Erişim Kartı için Eğri Uydurma Denklemi.....	53
Şekil 5.16 Bluetooth Mesafe-EA Grafiği Ölçüm Değerleri.....	53
Şekil 5.17 Bluetooth için Eğri Uydurma Denklemi.	54
Şekil 5.18 Kişisel Çalışma Masası.	55
Şekil 5.19 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Masa).	56
Şekil 5.20 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Masa).	56
Şekil 5.21 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Masa).	57
Şekil 5.22 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Masa).	57
Şekil 5.23 Çalışan Sayısı 9 (Dokuz) Olan Ofis Ortamı.	57
Şekil 5.24 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Ofis).	58
Şekil 5.25 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Ofis).	58
Şekil 5.26 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Ofis).	59
Şekil 5.27 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Ofis).	59
Şekil 5.28 Toplu Taşıma Aracı (Yolcu).	60
Şekil 5.29 900 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Yolcu).	60
Şekil 5.30 1800 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Yolcu).	61
Şekil 5.31 900 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Yolcu).	61
Şekil 5.32 1800 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Yolcu).	61
Şekil 5.33 Toplu Taşıma Aracı (Sürücü).	62
Şekil 5.34 900 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Sürücü).	62
Şekil 5.35 1800 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Sürücü).	63
Şekil 5.36 900 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Sürücü).	63
Şekil 5.37 1800 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Sürücü).	63
Şekil 5.38 Servis Aracı (Yolcu).	64
Şekil 5.39 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Yolcu)....	65
Şekil 5.40 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Yolcu)..	65

Şekil 5.41 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Yolcu).....	66
Şekil 5.42 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Yolcu)...	66
Şekil 5.43 Servis Aracı (Sürücü).....	66
Şekil 5.44 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Sürücü) ..	67
Şekil 5.45 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Sürücü).	67
Şekil 5.46 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Sürücü) ..	68
Şekil 5.47 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Sürücü).	68
Şekil 5.48 Sinema/Tiyatro/Toplantı Salonu (Modemsiz).	69
Şekil 5.49 900 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modemsiz) ..	70
Şekil 5.50 1800 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modemsiz).	70
Şekil 5.51 900 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modemsiz)....	70
Şekil 5.52 1800 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modemsiz).	71
Şekil 5.53 Sinema/Tiyatro/Toplantı Salonu (Modemli).	71
Şekil 5.54 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modem)..	72
Şekil 5.55 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modem).	72
Şekil 5.56 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modem) ..	73
Şekil 5.57 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modem).	73

KISALTMALAR

EMR	Electromagnetic Radiation (Elektromanyetik Radyasyon)
RFR	Radio Frequency Radiation (Radyo Frekans Radyasyonu)
SAR	Specific Absorption Rate (Özgül Soğurulma Oranı)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Uluslararası İyonlaştırılmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu)
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü)
WLAN	Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)
Wi-Fi	Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)
GSM	Global System for Mobile Communications (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem)
IME	The International Mobile Station Equipment Identity (Uluslararası Mobil Cihaz Kimlik Bilgileri)
SMS	Short Message Service (Kısa Mesaj Servisi)
MMS	Multimedia Messaging Service (Multimedya Mesaj Servisi)
SWR	Standing Wave Ratio (DDO: Duran Dalga Oranı)
EMC	Electromagnetic Compatibility (Elektromanyetik Uyumluluk)

EMI	Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
RF	Radio Frequency (Radyo Frekansı)
IRPA	International Radiation Protection Association (Uluslararası Radyasyondan Korunma Topluluğu)
ELF	Extremely Low Frequency (Aşırı Düşük Frekans)
BCCH	Broadcast Control Channel (Yayın Kontrol Kanalı)
UNEP	United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
FCC	Federal Communications Commission (Federal İletişim Komisyonu)
NRPB	National Radiological Protection Board (Ulusal Radyolojik Korunma Birliği)
ANSI	American National Standards Institute (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü)
EM	Electromagnetic (Elektromanyetik)
EMF	Electromagnetic Field (Elektromanyetik Alan)
IARC	International Association for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı)
WTR	Wireless Technology Research
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
ODDS	Göreceli Olasılıklar Oranı (Tahmini Rölatif Risk)

SEMBOL LİSTESİ

P	Antenin Işıma Gücü
R_r	Işıma Direnci
I	Akım
P_v	Verici Gücü
P_a	Alıcı Gücü
S	Güç Yoğunluğu
G_v	Verici Anten Kazancı
G_a	Alıcı Anten Kazancı
R	Verici – Alıcı Uzaklığı
λ	Dalga Boyu
G	Anten Kazancı
E	Elektrik Alan Limit Değeri
D	Güvenlik Mesafesi
σ	Doku İletkenlik Katsayısı
ϵ_0	Serbest Uzayın Dielektrik Sabiti
ϵ_r	Kayıp Faktörü (Dokunun Bağıl Geçirgenlik Sabiti)
ω	EMR Frekansı
ρ	Doku Yoğunluk Katsayısı
E_i	İç Elektrik Alanın Limit Değeri
H	Manyetik Alan
Z	Empedans
A_e	Anten Etkin Alanı
f	Frekans

ÖZET

HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN YAYDIĞI ELEKTRİKSEL ALANDAN KAYNAKLANAN ELEKTROMANYETİK RADYASYON (EMR) VE İNSAN SAĞLIĞI

ZORLU, Elgin

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa Cenk ERTÜRK

Aralık – 2015, 92 sayfa

Elektromanyetik Radyasyon (EMR), artık çevremizi bizimle beraber paylaşan bir unsurdur. Evimizde, iş yerimizde, sokakta, toplu taşıma araçlarında, sosyal etkinliklerde (sinema, tiyatro... vb) veya bir toplantı salonunda iken etrafınızda yoğun bir elektromanyetik dalga (EMD) olabilir. Bu durum ana istasyonlardan, kullandığımız cep telefonlarından, modemlerden, radyo-tv vericilerinden veya daha birçok etkenden kaynaklanabilir. EMR' nin insan vücuduna etkilerini hesaplayabilmek için bu radyasyonun ne kadarının insan vücudu tarafından soğurulduğunun bilinmesi gereklidir. Bunun için, literatürde “Özgül Soğurulma (Emilim) Oranı” olarak bilinen değerler hesaplanmalıdır. Bu çalışmada, günlük yaşamda insanların uzun vakitlerini geçirdiği ortamlarda GSM vericilerinin, cep telefonlarının, WLAN modemlerin, bilgisayarların üzerindeki WLAN kablosuz erişim kartlarının ve bluetooth sistemlerinin insanlar üzerinde oluşturduğu elektriksel alan değerleri, tek kullanıcı veya kalabalık ortamlar için düşünülerek senaryolaştırılmış ve bu senaryolar gereği insanlar üzerindeki toplam elektriksel alan değeri hesaplanarak uluslararası standartlar ile belirlenmiş emniyetli maruziyet sınırları ile karşılaştırılmıştır. Değerlendirilen senaryolarda, elektriksel alana maruz kalanların maruziyet değerlerinin bazılarının belirlenen uluslararası sınırlarının altında kaldığı, bazılarının bu sınır değere yakın olduğu ve bir kısmının ise sınır değerlerin üzerine çıktığı sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu elektriksel alan

değerleri kullanılarak insanın beyin sıvısında, kafatasında ve deri-kas sistemi üzerinde oluşturduğu SAR değerleri ve bu değerlerin söz konusu bölgelerde maruziyet zamanına bağlı olarak ne miktarda sıcaklık artışına neden olduğu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Alanlar ve Radyasyon, Halk Sağlığı, Mesleki Sağlık, SAR ve Sıcaklık.

ABSTRACT

ELECTROMAGNETIC RADIATION (EMR) ORIGINATED FROM ELECTRIC FIELD EMITTED BY COMMUNICATION SYSTEMS IN TERMS OF HUMAN HEALTH

ZORLU, Elgin

Master, Electrical and Electronics Engineering

Thesis Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Mustafa Cenk ERTÜRK

December – 2015, 92 Pages

Electromagnetic Radiation (EMR) is now a factor which has become an integral part of our environment. When we are in our homes, at work, or in public, intense electromagnetic waves often linger. This phenomenon can be traced to many everyday sources, such as base stations, mobile phones, modems, as well as radio and TV transmitters. In order to calculate the effects of EMR on the human body, it is necessary to know how much radiation is absorbed by the human body. To do so, the source, "Specific Absorption Rate (SAR)" values should be calculated. In this research, electric field values generated on humans were calculated. The values are caused by GSM transmitters, mobile phones, WLAN modems, WLAN wireless access cards, and Bluetooth systems. Next, the total electric field required for this scenario was calculated with set international standards on human values compared to safe exposure limits. For evaluating the scenario, the exposure value of people who have been exposed to electrical fields was considered. The values remained below the recommended international standard limits in some scenarios while another part was still to close or exceeded the agreed limit results. SAR values which are formed in human's cerebrospinal fluid, in the skull, and in the skin-muscle system, were determined by using the obtained electric field values and the amount of temperature rise because the values in these parts of human body were calculated.

Key Words: Electromagnetic Field and Radiation, Public Health, Occupational Health SAR and Temperature.

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Modern toplumlarda yaşayan hemen herkes, sürekli olarak doğal olaylardan kaynaklanan etkinin çok daha üzerinde elektromanyetik alan (EMA) ve elektromanyetik dalganın (EMD) içinde yaşamını sürdürmektedir. Bunların yüksek şiddet veya güç düzeylerinde insan sağlığına zararlı olduğuna dair bir kuşku yoktur. Ancak, insanların günlük hayatta karşılaştıkları daha düşük düzeydeki elektromanyetik alan ve elektromanyetik dalganın uzun vadede insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olup olmadığı tartışma konusu olmaya devam etmektedir. Dünya genelinde elektrik üretim, iletim ve dağıtım şirketleri ile elektrikli cihaz üreticileri, bu elektromanyetik alan ve dalgaların insan sağlığı açısından bir tehdit olmadığını veya çok az bir etkisinin olduğunu savunmaktadırlar. Öte yandan, bu konudaki araştırma kaynakları, bilim insanları ve EMR'den korunma amaçlı ürün ve hizmet satanlar, olası veya gerçekleşen zararların inkâr edilemeyeceğini ve sağlık etkilerinin çok ciddi boyutlarda olduğunu iddia etmektedirler. Bugüne kadar yapılan bilimsel araştırmalar ve incelemeler ise elektromanyetik alanların ve elektromanyetik dalgaların çok küçük şiddet ve güçlerde bile çeşitli biyolojik etkilerinin olduğunu göstermektedir [1].

Elektromanyetik radyasyonlar (EMR) dalga özellikli radyasyonlar olarak tanımlanır. EMR, boşlukta yayılma özelliğine sahiptir. Bu tür dalgalar, dalga boyları ve frekansları ile belirlenir. Tüm elektromanyetik dalgalar, boşlukta aynı hızla yayılırlar. Bu hız, ışık hızına eşit olup saniyede 300.000 km'dir. Elektromanyetik radyasyonlar, iyonlaştırıcı olanlar ve iyonlaştırıcı olmayanlar olarak ikiye ayrılır. İyonlaştırıcı olan elektromanyetik radyasyonlar, X ve gama ışınlarıdır ve sağlığa olumsuz etkileri olduğu kanıtlanmış durumdadır. İyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyonlar ise uzun dalga boyludan kısa dalga boyluya doğru;

radio dalgaları, mikro dalgalar, infrared ışınları, lazer ışınları ve ultraviyole ışınlarıdır. Bunlardan infrared ışınları, lazer ışınları ve ultraviyole ışınlarının da insan vücuduna verdiği zararlar, yapılan çok sayıda araştırma ile kanıtlanmıştır [2].

Ülkemizde baz istasyonları için yayınlanan yönetmeliklerde kabul edilen sınır değerler, şimdilik Avrupa Birliği ile aynı olmakla birlikte, temel sorun yönetmeliğe uyulup uyulmadığının denetlenmemesidir. Bugün Türkiye’de hangi tip ve kaç tane baz istasyonu olduğu kamuoyu tarafından bilinmemektedir. Oysa gelişmiş ülkelerde her baz istasyonunun yaydığı RFR’yi gösteren haritalar çizilmiş ve kamuoyunun bilgisine sunulmuştur. Bugün internet aracılığı ile Amerika Birleşik Devletlerinde, İngiltere’de ve diğer gelişmiş ülkelerdeki baz istasyonu sayısına, tipine ve yerleşim yerine ulaşmak mümkündür [5, 6, 7]. Yapılan çalışmalar bir binanın çatısında baz istasyonu olmasının binada bulunanları, binanın çevresinde bulunanlara göre daha fazla etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle çocukların, hastaların ve diğer risk gruplarının yaşadığı binalarda baz istasyonu bulunmasının sağlık açısından sakıncalı olabileceğini mutlak suretle değerlendirmek gerekmektedir. Bu bağlamda, baz istasyonlarına yakın binaların daha ucuza alıcı bulması, kamuoyunun bu konudaki duyarlılığına çok iyi bir örnektir [4].

Cep telefonunun kullandığı frekanstaki elektromanyetik alanın P53 geninde (kanseri önleyici protein) hasara yol açtığı 1993 yılında Belçika’da gösterilmiştir. Aynı frekansta farelerde yapılan hayvan deneylerinde elektromanyetik alanın beyin lezyonlarına yol açtığı da gösterilmiştir. Fransa’da son bir yılda, EMR yayan cihazların kullanımındaki artışa bağlı olarak beyin tümörü sayısında % 31 artış görülmüştür [8].

Baz istasyonları ile aynı frekansları kullanan cep telefonlarının kullanım süresinin artmasının, istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde baş dönmesinde, keyifsizlik halinde, konsantrasyon bozukluklarında, bellek kaybında, baş ağrısında, kulaktaki ağrı ve kızarıklıkta, yüzde yanmalarda ve kafa sıcaklığındaki artışta rol oynadığı bilinmektedir [3, 4]. Bu çerçevede etrafımızda sunuk kaldığımız baz istasyonlarının 365 gün ve 24 saat aralıksız çalıştığı ve EMR yaydığı göz ardı edilmemelidir.

Bu güne kadar yapılan araştırmalar, insan vücudunun **1 °C’lik** sıcaklık artışını düzenleyemediğini ve bu 1 °C’lik sıcaklık artışının vücutta sorunlar oluşturduğunu

göstermektedir [36, 83, 84, 86]. Özgül soğurulma oranı (SAR), vücudun 1 kg'nın sıcaklığını 1 °C yükselten elektromanyetik enerji miktarıdır. Uluslararası Non-İyonizan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP), insan vücudundaki dokuların kilogram başına soğurulaabileceği maksimum gücü 4 W olarak belirlenmiştir (4 W/kg). Bu değerinde biri meslekleri gereği elektromanyetik alana sunuk kalanlar için sınır olarak kabul edilmiştir (0,4 W/kg). Toplumun sunuk kalabileceği sınır için mesleki sunuk kalma düzeyinin beşte biri (**0,08 W/kg**) alınmıştır [36, 39, 83, 85, 86]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise cep telefonlarının SAR değerini sınır olarak 0,1 W/kg olarak önermektedir. Oysaki Ülkemizde satışa sunulan cep telefonlarının SAR değerleri 0,1 ile 2,67 W/kg arasında değişmektedir [8].

Baz istasyonları ve diğer EMR yayan cihazlar açısından güvenlik limitlerini SAR değeriyle belirlemek ve ifade etmek pratik olmaktan uzaktır. Bu nedenle SAR değeri olarak verilen temel limitlerden türetilmiş limitlere geçilir. Bu limit değerler kolay ölçülebilir ve pratik olması nedeniyle, frekans aralığına ve büyüklüğüne bağlı olarak elektrik alan şiddeti olarak verilir.

Ülkemizde ise Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.07.2001 tarihli resmi gazetede yayınlanan yönetmelikte yer alan sınır değerlerin belirlenmesinde, ICNIRP kılavuzunda yer alan sınır değerler esas olarak alınmış olup kontrolsüz etkilenmede yani halka açık kamusal alanlarda kişiye etkiyecek en yüksek elektrik alan değeri **10,23 V/m** olarak belirlenmiştir [21, 36, 83, 85, 86, 87, 88].

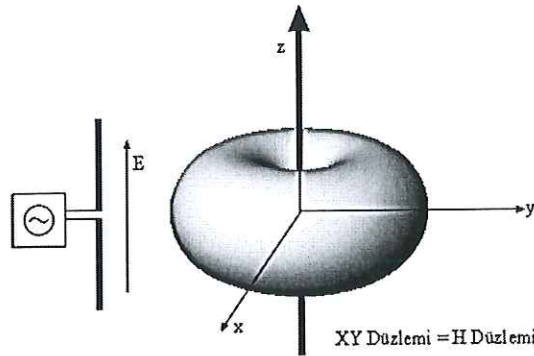
Bu çalışmada değişik ortamlarla ilişkili benzetimler yapılarak bu ortamlarda bulunan insanlara etkileyen EMR hesabında temel limitlerden türetilmiş limitlere geçilerek cihazların yaydığı serbest uzay EA değerleri kullanılmıştır. Limit değerlerin anlaşılması açısından ise en kötü senaryo durumları ve en uzun maruziyetler göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmış, elde edilen veriler Ulusal ve Uluslararası belirlenmiş güvenli maruziyet sınır değerleri ile mukayese edilerek sonuçlara ulaşılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

ANTEN KAVRAMI ve ÖZGÜL SOĞURULMA ORANI (SAR)

Elektromanyetik uyumluluk (EMC) problemlerinin önemli bir bölümü, işaret taşıyan her elemanın belli koşullarda elektromanyetik sızıntıya neden olmasından kaynaklanmaktadır. Yani bu elemanların birçoğu anten gibi davranabilmektedirler. Anten bir dönüştürücüdür. Besleme noktalarına uygulanan Volt büyüklüğündeki gerilimi Volt/Metre büyüklüğündeki elektrik alana dönüştürür. Buna verici anten denir. Verici anten aynı zamanda alıcı anten gibi de kullanılabilir [14].

Kısacası antenler yayımı ve alımı sağlayan uç elemanlardır. Şekil 2.1’de tipik bir çubuk anten ve etrafında oluşturduğu elektrik alan dağılımı gösterilmiştir. Ortasından beslenen l uzunluğundaki bir iletken çubuk anten görevi görür ve Şekil 2.1’de gösterildiği gibi oluşan elektromanyetik dalgaların elektrik alan bileşeni çubuk eksenine paraleldir. Şekil 2.1’ de sağda verilen üç boyutlu değişim ise elektrik alanın yoğun olduğu yerleri göstermektedir. Antenin yaydığı güç, anten boyu ile çalışma frekansı ilişkisine bağlıdır. Anten boyu işaret dalga boyundan çok küçük ise yayılan güçte küçük olur. Bunun nedeni anten ışınım direncinin çok küçük olmasıdır. Oysa anten boyu yarım dalga boyuna yakın ise yayılan güç en fazla olur. Bu tip antenlere rezonanslı antenler denir [16].



Şekil 2.1 Çubuk Anten ve Oluşturduğu Elektrik Alan Dağılımı.

Bir anten için önemli parametreler [14];

- Giriş empedansı, Duran Dalga Oranı (DDO)
- Işıma gücü ve ışımaya direnci
- Anten verimi, yakın alan-uzak alan
- Işıma diyagramları ve polarizasyon
- Yöneltilik, kazanç, etkin yüzey ve demet genişliği
- Anten faktörü

2.1. Giriş Empedansı

Bir anten, besleme noktasında iki kapılı bir devrenin giriş kapısı gibi davranır. Bu noktada, besleme gerilim kaynağının bağlanacağı uçlar arasında bir empedans değeri gösterir. Bu değere giriş empedansı denir [9, 13].

2.2. Duran Dalga Oranı (DDO)

Anten girişinde yansıyan ve giden gerilim dalgalarının oluşturduğu maksimum gerilimin minimum gerilime oranı, Duran Dalga Oranı olarak isimlendirilir. DDO, anten girişinde geri yansıyan gücü belirten bir parametredir. Uygulamada geri yansımaları en aza indirmek için anten girişinde, kaynak ile anten arasında empedans uyumlaştırıcı devre kullanılır. Tek frekansta empedans uydurmak kolaydır. Ancak, eldeki anten genelde oldukça geniş bir frekans bandında kullanılır. Bu durumda girişindeki empedans frekansla değişir. Empedans uydurucu da bu değişime göre uygunluk sağlamak zorundadır. Bu ise belli limitler arasında sağlanabilir. Pratikte DDO belli bir frekans bandının ortasında (en iyi) ve kenarında (en kötü) verilir. Parametreler bandın ortasına göre optimize edildiğinden band kenarında en kötü performans beklenir [9, 14].

2.3. Işıma Gücü ve Direnci

Antenin ışımaya gücü (P), uzaya elektromanyetik dalga olarak yaydığı güçtür. Anten ışımaya gücü ile üzerinden akan akım arasında Ohm Yasası'na göre bulunan dirence de ışımaya direnci denir ve R_r ile gösterilir. Işıma direnci sanal bir dirençtir ve anten gücü ile akımını birbirine bağlar [14].

$$R_r = \frac{P}{I^2} \quad (2.1)$$

2.4. Anten Verimi

Antenin kaynaktan çektiği gücün bir kısmı ısı kayıp olarak antende harcanır. Işıma gücü ve ısı kayıpların toplamı kaynaktan çekilen güce eşittir. Anten verimi ışıma gücünün kaynaktan çekilen güce oranı olarak tanımlanır. Isıl kayıplar ne kadar az ise verim o kadar yüksek olur [14].

2.5. Yakın Alan-Uzak Alan

Anten ya da herhangi bir ışıma elemanına yakın olan bölge yakın alan olarak tanımlanır. Yakın alan, elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin düzlem dalga karakteri göstermedikleri bölgedir. Bu bölgede her iki bileşen de karmaşık karakter gösterir ve ölçülmesi çok zordur. Uzak alan ise düzlem dalga yaklaşımı yapılabildiği bölgedir. Yani; uzak alan, uzaklığın dalga boyundan çok fazla olduğu bölge, yakın alan ise uzaklığın dalga boyundan küçük olduğu bölgedir diyebiliriz. Yakın ve uzak alan tanımları anten cinsine ve etkileşimlere göre; frekans, anten boyutları gibi parametreler cinsinden belirlenir [12, 15, 18].

2.6. Işıma Diyagramları ve Polarizasyon

Işıma diyagramları, antenlerin hangi yöne ne kadar güç yaydığını gösteren şekillerdir. Işıma diyagramı herhangi bir düzlemde söz konusu olsa da, genelde, yatayda ya da düşeydeki diyagramlarla ilgilenilir. Polarizasyon, elektrik alanının zamanla çizdiği şekle göre tanımlanır. Antenin yaydığı elektromanyetik dalgalar için iletim boyunca elektrik alan eğer zemine dik ise düşey, paralel ise yatay polarizasyonlu dalga adını alır. En genel polarizasyon elips biçimindedir. Bunun özel hali dairesel polarizasyon, dairesel polarizasyonun iki bileşeni de yatay ve düşey polarizasyondur [9, 15].

2.7. Yöneltilik, Kazanç, Etkin Yüzey ve Demet Genişliği

Anten yöneltiliği ve kazancı belli bir referans antene göre tanımlanan iki önemli parametredir. Bir noktasal kaynak her yöne eşit ışıma yapar. Bu kaynağa izotropik kaynak adı verilir ve referans olarak kullanılır. İzotropik kaynağın her yöne yaydığı güce eşit gücü belli bir doğrultuya yayabilme özelliğine anten yöneltiliği denir. Kayıpsız antenlerde yöneltilik aynı zamanda anten kazancıdır. Ancak,

kayıplı antenlerde kazanç, yöneltilik ile kayıp oranının (verimin) çarpımına eşittir. Anten yöneltiliğinin analitik olarak hesaplanabilmesine karşın kazanç ancak referans antene göre yapılan ölçülerle bulunabilir.

Yönlü bir antenin bir noktadaki güç yoğunluğunun aynı güçle beslenen yönsüz antenin aynı noktadaki güç yoğunluğuna oranı, yönlü antenin o noktadaki kazancı olarak tanımlanır. Anten kazancı, antenin ne oranda yönlü olduğunun bir göstergesidir.

Anten kazancı ile doğrudan ilgili olan diğer parametre ise etkin yüzeydir. Anten etkin yüzeyi, uzaydaki elektrik alanlardan anten uçlarına güç aktarabilme yeteneği olarak tanımlanır. Demet genişliği, yöneltiliği olan antenlerde yöneltiliğin bir ölçüsüdür. Maksimum ışınım doğrultusundaki gücün yarıya düştüğü (yatayda ya da düşeyde) açısız genişlik anten ışınım demeti olarak tanımlanır [16].

2.8. Anten Faktörü

Özellikle EMC problemlerinde önemli bir tanım ve kavram anten faktörüdür. E/V ifadesindeki anten faktörü tanımının teorik değerinden çok pratik değeri anlamlıdır. Ele alınan bir elektrik alan ölçü aleti ve ona bağlı bir alıcı anten ile ortamdaki elektrik alan değeri ölçülmektedir. Bir çubuk anten, bunun uçlarına değişik konnektörlerle bağlanmış bir koaksiyel kablo, bu kablonun bir başka konnektörle alıcı girişine bağlanmasının tüm etkileri anten faktörü olarak tanımlanır. Bu nedenle, kullanılan kablonun üzerindeki imalat hataları, ezilmeler veya bükülmelerin anten faktörü üzerinde doğrudan etkisi vardır. Ortamdaki işaret alıcı ekranına gelinceye dek konnektör kayıpları, kablo kayıpları, empedans uygunsuzlukları vb. benzeri etkiler sonucu farklı değer olarak ekrana yansır [16, 17].

2.9. Elektrik ve Manyetik Dipoller

EMC problemlerinin ardında iki temel elektriksel kaynak söz konusudur. Bunlar elektrik dipol ve manyetik dipoldür. Şekil 2.2' de bu iki dipol ve yarattıkları alanların baskın bileşenleri gösterilmiştir. Elektrik dipol, birbirine çok yakın iki zıt yük ya da eşdeğer olarak içinden akım akan çok küçük doğrusal bir iletken ile oluşur. Elektrik dipol etrafında elektromanyetik alanlar oluşturur. Elektrik dipolün yakın civarındaki elektromanyetik alanların baskın bileşeni elektrik alanıdır. Elektrik alanın manyetik alana göre şiddeti çok daha yüksektir [12, 16, 17].

kaynaklanmaktadır. İstenmeyen Elektromanyetik Girişim (EMI) kaynağının elektrik dipol mü yoksa manyetik dipol mü olduğu alınacak EMC önlemleri açısından da belirleyicidir. Tablo 2.1’de biri elektrik diğeri manyetik dipol gibi davranan iki iletkenin üzerinden 1 mA akım geçtiğinde iletkenlerden 3 m ileride oluşan elektromanyetik sızıntısının değişik frekanslardaki değerleri gösterilmiştir. Görüleceği üzere 10 cm uzunluğundaki bir tel parçasından 1 mA gibi düşük değerli bir akımın akması bile birkaç dBmV/m’ lik elektromanyetik sızıntıya neden olabilmektedir [18].

Tablo 2.1 Tel Çevresindeki Elektromanyetik Sızıntı.

Frekans (MHz)	Manyetik Dipol (dBμV/m)	Elektrik Dipol (dBμV/m)
30	6	16
50	15	20
100	27	26
200	39	32
300	46	36

2.10. Güç Yoğunluğu

Tanım olarak birim alana düşen ve elektromanyetik dalganın hareket doğrultusuna dik olan, yüzeydeki gücün yoğunluğu olarak belirtilir. Baz istasyonlarından kaynaklanan güç yoğunluğunun önceden belirlenmiş olan sınır değerlere uygun olup olmadığı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve üniversiteler tarafından yapılan ölçümler sonucunda belirlenir [21]. Bu ölçüm esnasında kullanılan cihazlar bazı parametrelerin de bilinmesi yardımıyla güç yoğunluğu değerini ölçer. Ölçüm yapılmayan durumlarda ise basit bir hesaplama ile ulaşılabilecek güç yoğunluğu değeri hesaplanabilir. Bu hesaplama için bilinmesi gereken parametreler ise;

- P_v : Verici Gücü (W)
- P_a : Alıcı Gücü (W)
- S : Güç Yoğunluğu (W/m^2)
- G_v, G_a : Verici ve Alıcı Anten Kazancı
- R : Verici – Alıcı Uzaklığı (m)
- λ : Dalga Boyu (m)
- f : Frekans (Hz)

olarak belirtilir. Gücü P_v olan bir vericiden R kadar uzaklıkta güç yoğunluğunu veren eşitlik;

$$S = \frac{P_v}{4\pi R^2} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (2.2)$$

şeklindedir. Verici anten, genelde kazancı G olan, yani belli doğrultuda istenen ışımasını yapan yönlü karaktere sahiptir. Bu durumda ışımının en fazla olduğu doğrultuda güç yoğunluğu;

$$S = \frac{P_v G_v}{4\pi R^2} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (2.3)$$

olur. Vericiden R kadar uzaklıkta bu güç yoğunluğundan yönsüz bir anten ile çekilebilecek güç;

$$P_a = \frac{P_v G_v}{4\pi R^2} A_e (W) \quad (2.4)$$

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_a (m^2) \text{ (Anten Etkin Alanı)} \quad (2.5)$$

olacaktır. Yönsüz bir antenin kazancı G=1 (0 dB) olarak alınır alıcıdaki güç;

$$P_a = \frac{P_v G_v G_a \lambda^2}{4\pi R^2 4\pi} (W) \quad (2.6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Alıcının olduğu noktadaki güç yoğunluğu ayrıca;

$$S = \frac{E^2}{120\pi} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (2.7)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Ayrıca alıcı noktasındaki elektrik alan ise;

$$E = \frac{\sqrt{30 P_v G_v}}{R} \left(\frac{V}{m} \right) \quad (2.8)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

2.10.1. Güvenlik Mesafesi Hesaplanması

İlgili yönetmeliklerde belirtilen limit değerler ve güvenlik mesafesi hesabı kullanılmak suretiyle sabit telekomünikasyon cihaz ve sistemlerinin civarında insanların emniyet dâhilinde bulunabilecekleri güvenli alanlar belirlenebilmesi için ölçümler yapılmaktadır. Telekomünikasyon Kurumu, bir sabit telekomünikasyon cihaz veya sistemi kurma iznini ancak insanların yaşadığı mekânlar ve tüm bina ve bahçe müstemilatıyla birlikte, okul öncesi ve temel eğitim kurumlarının güvenli alanda bulunabilmesi halinde ve istasyonun kurularak hizmete verilmesi aşamasında yapılacak teknik ölçüm ve kontrollerin, yönetmelik hükümleri açısından belirtilen güvenli alan içinde uygun bulunması halinde onaylanmaktadır. Güvenlik sertifikasının istasyonda vatandaşlarımızın kolayca görebileceği bir konuma asılması

ve bu suretle istasyon etrafındaki güvenli bölgenin herkes tarafından bilinmesi mümkün olmaktadır [21]. Güvenlik mesafesi şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$D = \frac{\sqrt{30P10^{\frac{G}{10}}}}{E} \quad (2.9)$$

P : Cihaz Çıkış Gücü (W)

G : Anten Kazancı (dBi)

E : Elektrik Alan Limit Değeri (V/m)

D : Güvenlik Mesafesi (m)

Eşitlikten de anlayabileceğimiz gibi güvenlik mesafesinin hesaplanması için baz istasyonunun istenen yöndeki çıkış gücü, anten kazancı ve hesaplanmak istenen alana göre elektrik alan limit değerinin bilinmesi gerekmektedir.

2.10.2. Özgül Soğurulma (Emilim) Oranı (SAR)

Cep telefonu tarafından yayılan radyasyonun yaklaşık olarak %50'si kullanıcının başı ve telefonu tutan el tarafından soğurulur. SAR (Specific Absorption Rate) dokulardaki Radyo Frekansı (RF) kaynaklı sıcaklık artışı ile ilişkilendirilen biyolojik etkilerin ölçüm birimi olup, dokunun iletkenliği ile ilgilidir ve iletkenlik dokunun su içeriği ile artar. Birimi, dokunun kilogramı başına absorbe edilen enerji anlamında W/kg olarak ifade edilir [20]. Temel olarak insanda vücut sıcaklığını 1 °C arttıracak Elektro Manyetik (EM) güç soğurulmasının zararlı olduğu belirtilmiş ve bir dokunun ya da vücudun maruz kaldığı elektromanyetik alandan dolayı meydana gelen soğurulma "Özgül Soğurulma (Emilim) Oranı - Specific Absorption Rate" ile tanımlanmıştır. SAR vücuda verilmiş olan enerjinin değerlendirmesini bir birim zamana karşı bir birim kütle olarak verir.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E_i|^2 = \frac{\omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{2\rho} |E_i|^2 \quad (2.10)$$

Burada;

σ : Doku İletkenlik Katsayısı (S/m = W/m³)

ϵ_0 : Serbest Uzayın Dielektrik Sabiti (8.85x10⁻¹² F/m)

ϵ_r : Kayıp Faktörü (Dokunun Bağıl Geçirgenlik Sabiti)

ω : Radyasyon Frekansı (2 πf)

f : Frekans (Hz)

ρ : Doku Yoğunluk Katsayısı (Kg/m³)

E_i : İç Elektrik Alanın En Üst Değeri (V/m)

SAR : Özgül Soğurulma Oranı (W/kg) olarak tanımlanır.

SAR ile sıcaklık artışı arasındaki matematiksel ilişki ise aşağıdaki gibi tanımlanır. Burada c ; spesifik ısı kapasitesi, ΔT ; dokudaki sıcaklık değişimi, Δt ise dokunun elektrik alana maruz kalma süresidir.

$$SAR = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (2.11)$$

Tablo 2.2 İnsan Dokusunun Elektriksel Özellikleri.

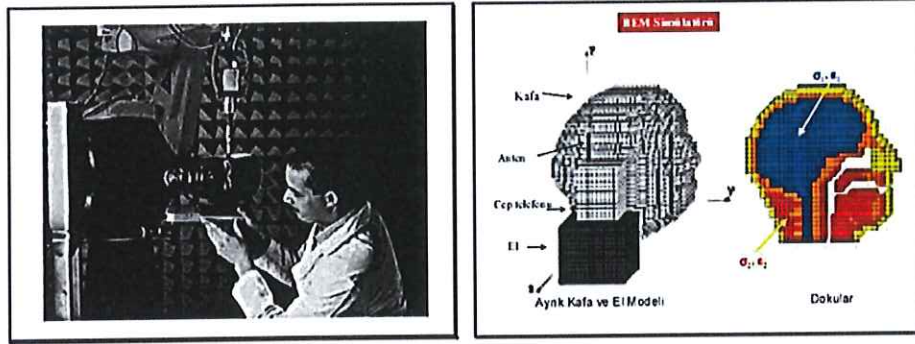
Doku Türü	Frekans (MHz)	c	σ	ρ	ϵ_r
Beyin Sıvısı	900	3650	2,29	1050	45,80
	1800		4,35		43,50
	2400		5,68		42,60
Kafa Taşı	900	3100	0,62	1180	12,45
	1800		1,18		11,80
	2400		1,52		11,41
Deri-Kas Sistemi	900	3600	2,07	1080	41,40
	1800		3,89		38,90
	2400		5,08		38,10

Ortalama SAR, alana maruz kalan vücutta emilen toplam gücün, kütlesine oranı olarak tanımlanır ve bağıntıdan göreceğimiz gibi SAR; ϵ_r ve σ ile doğru orantılıdır. ϵ_r ve σ , su oranı yüksek malzemelerde yüksek, su oranı düşük malzemelerde düşük bir değere sahiptir. Örnek olarak ϵ_r , kuru kâğıt için çok düşük, ıslak kâğıt için biraz daha yüksektir. Vücudumuzda bulunan kemik ve yağ dokusu, vücut sıvılarına göre çok daha az soğurmaya maruz kalırlar [19].

Bu güne kadar yapılan araştırmalar, insan vücudunun 1°C'lik sıcaklık artışı düzenleyemediğini ve vücutta sorunlar oluşturduğunu göstermektedir [36, 83, 84, 86]. Temel olarak normal bir insanın kan dolaşımında 4 W/kg değeri bulunmuştur. Yani kilogram başına dokuların soğurabileceği maksimum güç 4W olarak belirlenmiştir. Mesleki ortalama etkilenme sınır değeri, temel etkileme SAR sınırı değerinin 1/10'u olarak alınır. Yani mesleki ortalama etkilenme SAR sınırı, 4/10=0,4 W/kg'dır. Burada güvenlik katsayısı olarak 1/10 alınmıştır. Genel halk sağlığı için güvenlik katsayısı 5 kat daha artırılarak 1/50 seçilmiştir. Yani genel halk sağlığı ortalama etkilenme SAR sınırı, 4/50=0,08 W/kg olarak belirlenmiştir [36, 39, 83, 85, 86]. Bu sınır değerleri bir veya birden fazla RF ışına kaynağı

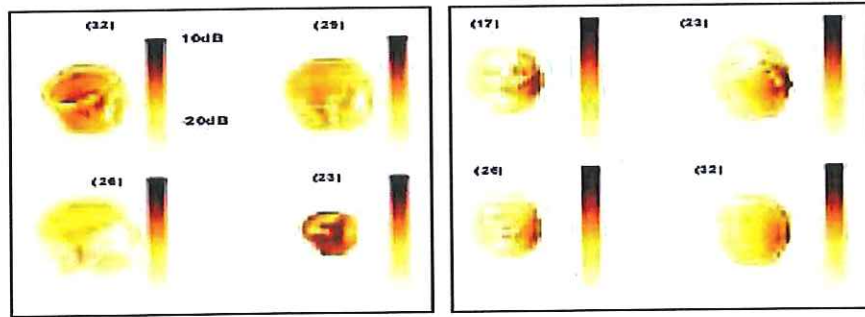
tarafından vücudun bir çalışma günü boyunca herhangi bir 6 dakikalık periyottaki ortalama etkilenme değeridir. Mesleki etkilenme sınırı, sistemin gerçekleştirilmesinde ve bakımında çalışanların ışımaya karşı korunur olmaları nedeniyle genel halk sağlığı sınırından daha yüksek tutulmuştur [19].

SAR değerinin bulunması için dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle SAR ölçümleri Şekil 2.4’de verildiği gibi ya insanın EM özelliklerine yakın tuzlu su ya da değişik kimyasal jellerden yapılmış robotlar üzerinde yapılır. Ayrıca bu amaçla güçlü sayısal teknikler kullanılarak bilgisayar simülasyonlarından da yararlanılmaktadır [23, 24].



Şekil 2.4 Dokularda Yutulan Radyasyon Modellenmesi.

Robotlar üzerinde yapılan ölçümler ve bilgisayar simülasyonları sonucu Şekil 2.4’de verilen SAR dağılımları elde edilir. Burada, yatay ve düşey kafa kesitlerindeki SAR değerleri gösterilmiştir. Koyu renkler yüksek SAR değerine karşı geldiğinden o doku içinde daha fazla zararlı EM enerji yutulması demektir.



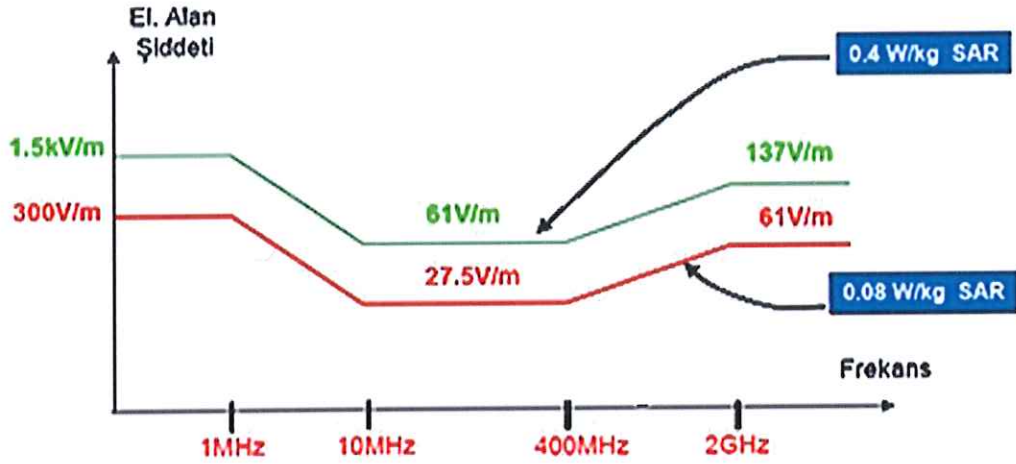
Şekil 2.5 SAR Simülasyon Sonuçları (Düşey Kesit-Yatay Kesit).

SAR modellemesi cep telefonu ile insan kafası etkileşiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsanın göz, kulak, beyin gibi hassas uzuvlarının olduğu kafasının birkaç milim ötesinde 1-2 W mertebesinde güç yayan bir cihazı kullanmasının kısa ve uzun dönem etkileri çok önemli olabilmektedir. Baz istasyonlarından ve cep

telefonlarından kaynaklanan RF radyasyonun soğurulması sonucu kafa bölgesi için oluşan SAR değerinin hesaplanmasında kullanılan bilgisayar simülasyon programlarının çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür [25].

Baz istasyonları ve diğer EMR yayan cihazlar açısından güvenlik limitlerini SAR değeriyle belirlemek ve ifade etmek pratik olmaktan uzaktır. Bu nedenle SAR değeri olarak verilen temel limitlerden türetilmiş limitlere geçilir. Bu limit değerler kolay ölçülebilir ve pratik olması nedeniyle, frekans aralığına ve büyüklüğüne bağlı olarak elektrik alan şiddeti olarak verilir.

Sekil 2.6'da türetilmiş limitlere bir örnek gösterilmiştir. Burada frekansa göre temel limitlerden yola çıkarak elde edilen ve izin verilen en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.6 SAR için Elektrik Alan Şiddeti Olarak Türetilmiş Değerler.

Çevre Bakanlığınca 11 Mayıs 2000 tarihinde yayımlanan genelgede AB ve International Radiation Protection Association (IRPA) referanslarıyla sınır değerler; 900 MHz bölgesinde 42 V/m (ortam için), 1800 MHz bölgesinde ise 59 V/m (ortam için) olarak belirlenmiştir. Bu değerler uzak alan varsayımı ile belirlenmiş olup elektrik alan; E, manyetik alan; H ve güç yoğunluğu; S arasındaki ilişki;

$$H = \frac{E}{377} \left(\frac{A}{m} \right) \quad (2.12)$$

$$S = \frac{E^2}{377} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (2.13)$$

eşitliklerinden bulunabilir [22, 26].

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ELEKROMANYETİK RADRASYON (EMR)

3.1. Elektromanyetik Radyasyon için Kullanılan Terimler ve Tanımları

Analog Sistem: Bilginin değişik frekans ya da genlikte elektronik sinyale dönüştürüldüğü sistemdir. Dijital sistemlerden daha iyi kapsama sağlar, ancak daha az güvenlidir ve sinyal zayıfsa çok girişim gözlenir.

Anten: Elektrik sinyallerini (voltaj ve akım) elektromanyetik dalgalara ya da elektromanyetik dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürmek için kullanılan araçtır.

Bluetooth: Farklı cihazların kısa mesafeler içinde bir ağ oluşturmasına olanak sağlayan kablosuz radyo teknolojisidir.

Continuous Wave (CW): Herhangi bir modülasyon yapılmamış, sürekli dalgayı tanımlar.

Dalga Boyu: Frekansı f olan bir dalga için tam bir dalganın oluştuğu uzaklık dalga boyu olarak tanımlanır (nm, μm , mm...).

Desibel: Elektromanyetik alanın gücündeki artışı ya da azalmayı tanımlamakta kullanılır.

Devamlı Maruziyet (Continuous Exposure): Standartlar için belirtilmiş ortalama sürenin (6 dakika ya da 30 dakika) üstündeki maruziyetler devamlı maruziyet olarak tanımlanır.

Dielektrik Sabiti: Bir ortamın boşluğa göreceli elektriksel geçirgenliğinin ölçüsüdür. $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ olup bağıntıdaki ϵ ; dielektrik sabiti, ϵ_0 ; boşluğun elektriksel geçirgenliği, ϵ_r ise maddesel ortamın boşluğa göre göreceli elektriksel geçirgenliğidir.

Dozimetri: Biyolojik yapı tarafından soğurulan radyasyonun birim olarak ifade edilmesidir.

Düzlem-Dalga: Elektrik ve manyetik alanlar, dalganın yayılım vektörüne dik bir şekilde ilerliyorsa bu dalga düzlem dalga olarak açıklanır. Uzak alan içinde düzlem-dalga yapısı görülür.

Elektrik Alan Şiddeti: Hareketsiz yükün 1 birimlik pozitif yüke etkidiği kuvvettir. Birimi V/m'dir.

Elektromanyetik Enerji: Elektromanyetik dalganın ya da alanın sahip olduğu enerjidir. Birimi Joule ya da eV'tur. EM dalganın enerjisi frekansına bağlıdır. Planck sabiti ($h=6,626 \times 10^{-34}$ j/Hz) ve frekansın çarpımından bulunur.

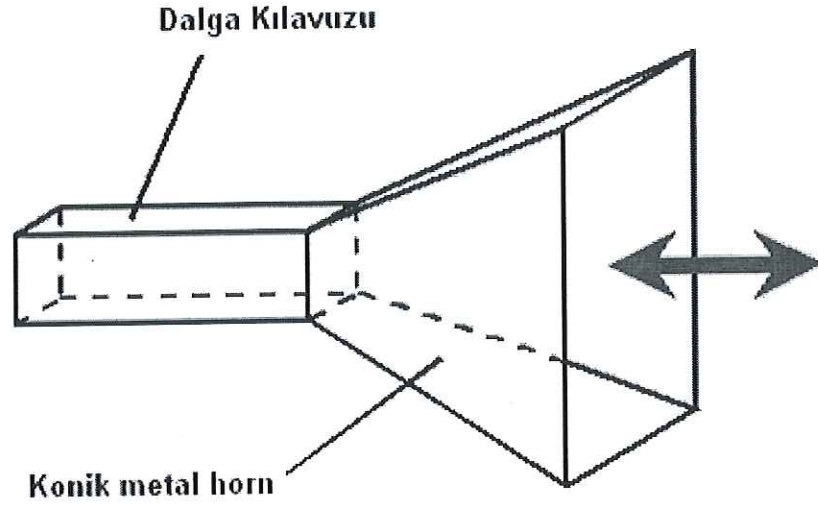
Empedans: Elektromanyetik dalganın bir ortamda ilerleme yönünde karşılaştığı elektriksel basınçtır. RF alanlar için bir noktada oluşan elektrik alan şiddetinin manyetik alan şiddetine oranıdır. Bağlantısı; $Z=E/H$ olup birimi ohm (Ω)'dur.

ELF (Extremely Low Frequency): Oldukça düşük frekans olarak tanımlanır. Elektromanyetik spektrumdaki frekansı 300 Hz'in altındaki dalgalar için kullanılır.

Genel Halk (Kontrolsüz, Açık Alan, Kamusal) Maruziyeti ve Mesleki (Kontrollü) Maruziyet: Radyasyon maruziyetinden haberdar olmayan halk için genel halk (kontrolsüz, açık alan, kamusal) maruziyeti, maruziyetten haberdar olan ve maruziyetini kontrol yetisindeki çalışanlar için ise mesleki (kontrollü) maruziyet tanımları kullanılır.

Güç Yoğunluğu: Birim alanın maruz kaldığı güç miktarıdır. Genellikle W/m^2 ile ifade edilir. Ayrıca mW/cm^2 ya da $\mu W/cm^2$ birimleri de kullanılabilir.

Horn Anteni: Horn anteni mikrodalga ve RF sinyallerinin gönderilmesi ya da alınması için kullanılan anten tiplerinden biridir. Konik görüntüsünden dolayı horn anten ismini almıştır. Horn anten ekseninde maksimum radyasyon gözlenir. Dalga kılavuzu ile beslenir. Düzgün çalışması için boyutlarının minimum dalga boyunda olması önerilir. Horn anten dalga boyu ile karşılaştırıldığında boyutu çok küçükse iyi etkinlik göstermeyebilir.



Şekil 3.1 Tipik Bir Horn Anten.

Kontrol Grubu: Çalışmada “sham” alan uygulaması yapılan grubu ifade etmektedir.

Kısa Süreli Maruziyet: Standartlar için belirtilmiş ortalama sürenin (6 dakika ya da 30 dakika gibi) altındaki maruziyetler kısa süreli maruziyet olarak tanımlanır.

Manyetik Alan Şiddeti: Hareketli yükler etrafında yani akımlar etrafında oluşan alanlardır. Birimi ise A/m'dir.

Mikrodalga: Frekansı 300 MHz – 300 GHz aralığında değişen elektromanyetik dalgalarıdır.

Ortalama Süre: Ortamdaki ölçülen alan şiddetinin, ortalama değerinin hesaplanması için geçen her bir ölçüm süresidir.

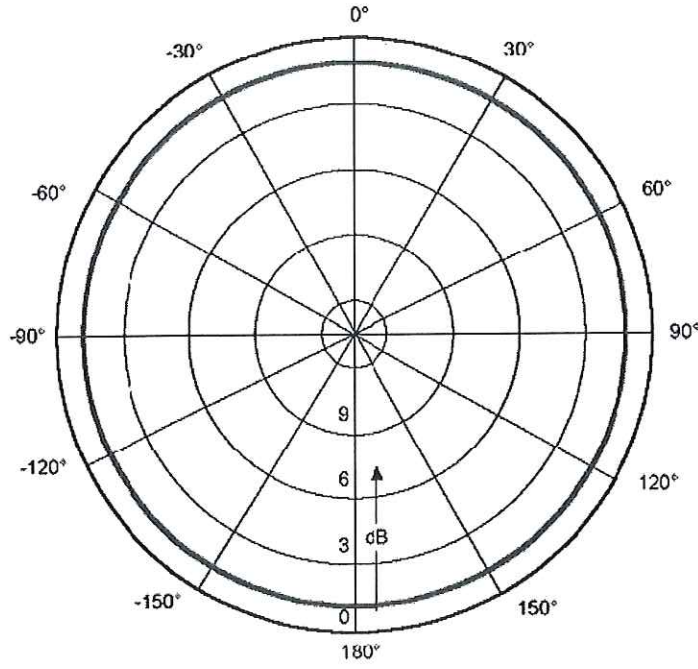
Radyo Frekans: Elektromanyetik spektrumun genellikle iletişim ve yayın amaçlı kullanılan frekans aralığıdır ve 300 Hz – 300 GHz arasında değişir.

Statik Alanlar: Frekansı sıfır olan sistemler ya da doğru akım uygulayarak oluşturulan alanlar statik alanlardır.

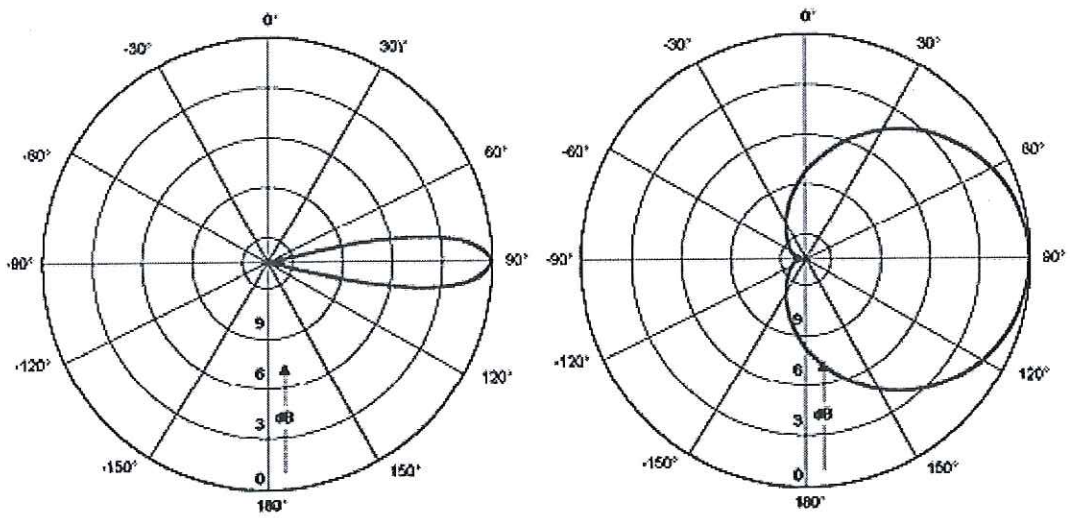
Uzak Alan: EM dalganın düzlem dalga özelliği gösterdiği uzaklık olarak tanımlanmıştır. Uzak alanda EM alan bileşenleri (E ve H alan) ve yayılım vektörü (K) birbirine diktir. Elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin oranı sabittir ve ortamın empedansını (Z) verir.

Yakın Alan: EM dalganın düzlem dalga yapısı göstermediği uzaklıktır. Bu bölgede manyetik alan ve elektrik alan karmaşık yapıya sahiptir.

Yönsüz Anten ve Yönlü Anten: Elektromanyetik enerjiyi uzayda kendinden eşit uzaklıktaki noktalara eşit olarak yayın ya da noktalardan eşit olarak alan antenlere yönsüz anten denir. Şekil 3.2'de yönsüz bir anten için bir düzlemdeki örnek bir ışınım verilmiştir. Yönlü antenler elektromanyetik enerjiyi belirli bir yönde diğer yönlerle göre daha etkin olarak yayın ya da alırlar. Genelde kullanılan antenler yönlüdür. Şekil 3.3'de yönlü antenlerin ışınımına örnek gösterilmiştir. Aşağıdaki şekillerde dairenin merkezindeki nokta anteni temsil etmektedir.



Şekil 3.2 Yönsüz Anten için Örnek Işınım.



Şekil 3.3 Yönlü Anten için Örnek Işınımlar (Dar Açılı Işınım-Geniş Açılı Işınım).

3.2. Radyasyon ve Türleri

Bir elementin özelliklerini taşıyan en küçük ögesi atomdur. Pozitif yüklü atom çekirdekleri negatif yüklü elektronlarla birlikte nötr olan atomları oluşturmaktadır. Bir atom çekirdeğinin kararsız durumdan daha kararlı bir duruma geçerken elektromanyetik dalga veya parçacık şeklinde enerji yayılmasına radyasyon (ışınım) denir. Radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki grupta toplanır.

3.2.1. İyonlaştırıcı (İyonize Eden) Radyasyon

Madde içinden geçerken enerjisini ortama aktarmak yoluyla ortamdaki atomları doğrudan veya dolaylı yollarla iyonlaştıran yani atomlardan iyon koparabilecek kadar enerjiye (10 eV'den yüksek enerjiye) sahip radyasyon iyonize radyasyon olarak tanımlanır. Elektromanyetik spektrumda γ ve X ışınları ile UV radyasyonun bir bölümü iyonize radyasyondur [27, 28].

3.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan (İyonize Etmeyen) Radyasyon

Yeterince enerjisi olmadığı için ortamdaki atomları iyonlaştırmayan atomlardan iyon koparacak kadar enerjiye (10 eV veya 1 eV) sahip olmayan radyasyon için kullanılır [27, 28].

İyonlaştırıcı radyasyon fiziksel ve biyolojik yarılanma süresi, dozu, giriciliği ve kütlesi ile bağlantılı olarak insan sağlığına kanıtlanmış çeşitli zararlar verebilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, yani radyo frekans dalgalarının yaydığı radyasyon, X ve gama ışınlarından tamamen farklıdır. İnsan vücudunda iyonizasyona neden olmaz. Bilim ve teknolojideki gelişmelerle beraber günlük yaşamda gerek işyerinde gerek ev ortamında kullanımda olan cihazları düşünürsek, elektromanyetik dalgalarla adeta kuşatıldığımız söylenebilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon yaydığı bilinen tüm sistemler, özellikle de 1990'lı yılların başından bu yana gelişen ve hızla yaygınlaşan cep telefonları ve baz istasyonlarının insan sağlığı açısından bir takım risklere yol açabilme olasılığı bilim dünyasında çok sayıda tartışmalara ve halen süregelen çok sayıda araştırmanın yapılmasına neden olmuştur [27, 28].

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ifade edilen elektromanyetik radyasyon kaynakları nelerdir?

- Sabit telekomünikasyon cihazlarının antenleri,
(Baz istasyonları ve cep telefonları)
- Radyo, televizyon ve telsiz verici istasyonlarının antenleri,
- Elektrik iletim hatları ve trafo merkezleri,
- Elektrikli trenler,
- İndüksiyon fırınları ve indüksiyon kaynak makineleri,
- TV ve bilgisayar ekranları,
- Radar sistemleri,
- Uydu iletişim sistemleri,
- Tıpta kullanılan bazı cihazlar,
- Endüstride yüksek radyo frekansta çalışan bazı sistemler,
- Elektrikli ev aletleri (mikrodalga fırın, traş makinesi, saç kurutma makinesi)

Yapılan araştırmalar iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyon kaynaklarının oluşturduğu elektromanyetik alanların çevreye ve insana etkilerinin, kaynak yoğunluğu ve işletilme frekansına bağlı olduğunu belirtmektedir [29, 30].

3.2.2.1. Düşük Frekanslı EM Işınım (0 Hz – 10 kHz)

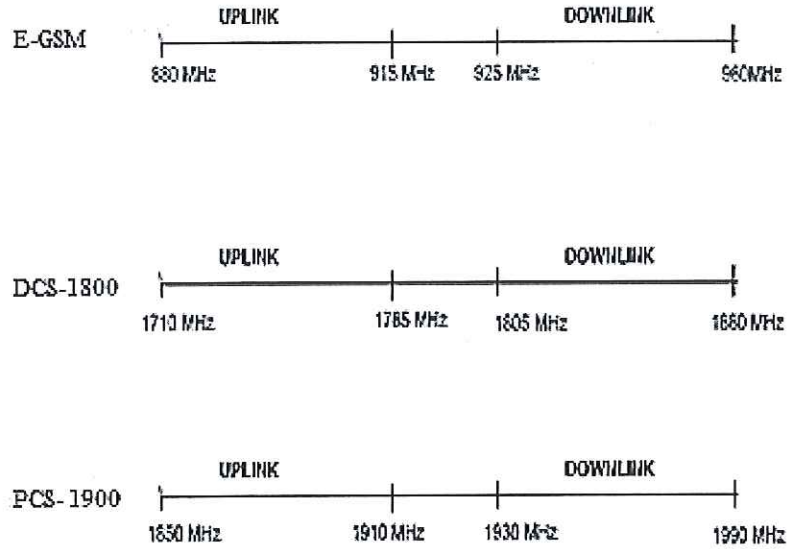
Düşük frekans EM alanlar insan vücudunda saç telinin havalanması gibi yüzeysel etkilere neden olmaktadır. Bu ışınımın zararlı etkisinden korunmak için, daha az maruziyet yani bir takım kısıtlamalar önerilmektedir. Bu kısıtlamalar, vücutta oluşan özgül soğurulma (emilim) oranı gibi büyüklükler cinsinden verilmekte, ancak bunlar ölçülemediğinden, ölçülebilen dış elektrik alan miktarı kullanılmaktadır.

3.2.2.2. Yüksek Frekanslı EM Işınmımlar (10 kHz – 300 GHz)

RF alanlar 10 GHz üzerinde deri yüzeyi tarafından absorbe olur ve enerjinin küçük bir kısmı alta yerleşen dokulara penetre olur. Bu etkinin tamamı olumsuz sağlık sonuçları ortaya çıkarır anlamına gelmemektedir. Örneğin; katarakt ya da deri yanığı gibi olumsuz sağlık sonuçları 10 GHz üzerinde RF alan ve 1000 W üzerinde güç dansitesi maruziyeti sonucu oluşur [30].

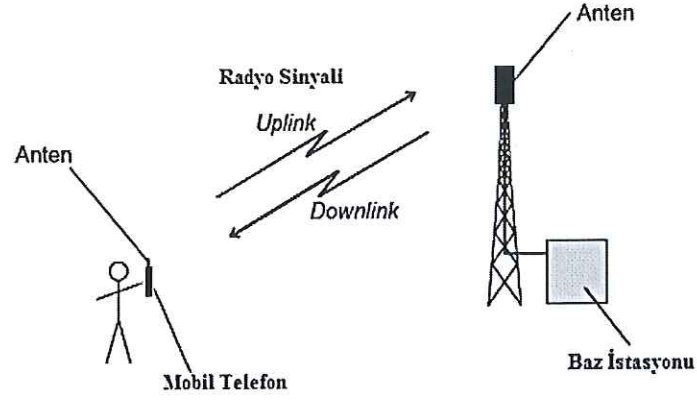
Yüksek frekanslı elektrik alan tüm vücutta ya da bölgesel olarak ısı oluşturur. Frekansa bağlı olarak vücut sıcaklığı kontrol sistemi etkilenmektedir. Bu zararlı etkileri azaltmak için elektromanyetik ışımanın belli bir değerde olmasını öngören standartlar geliştirilmiştir.

Hücresel sistemde kapasitenin kolaylıkla istendiği kadar artırılması, hücreleri daha küçük hücrelere bölüp sayılarını arttırmakla mümkün olmaktadır. Hücre arttırma durumunda önemli olan birbirine komşu olan hücrelere farklı frekans numarası vererek konuşma sırasında aynı verimi sağlamaktır. GSM sistemindeki en uç birimler 900 MHz, 1800 MHz veya 1900 MHz frekansını kullanılmaktadır (Şekil 4.2). Mobil telefonlar GSM sistemlerinin en önemli kısmını oluşturmaktadır.



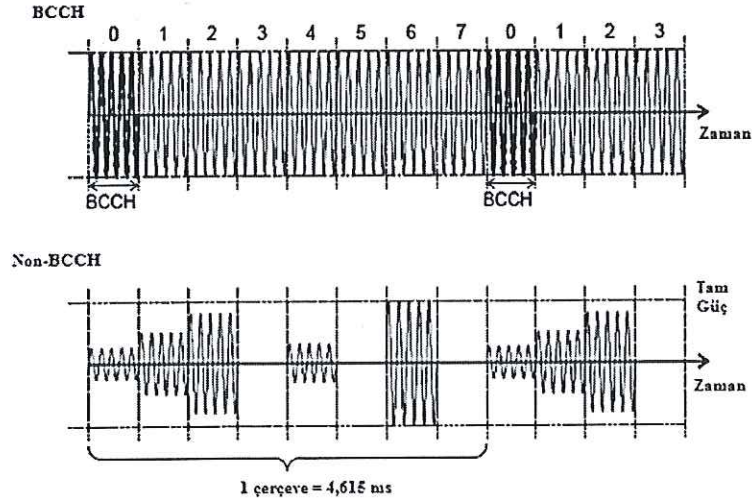
Şekil 4.2 GSM Sistemlerinin Çalışma Frekansları.

Mobil telefon, GSM şebekesinin bağlı olduğu radyo baz istasyonu ile elektromanyetik dalgalar aracılığıyla doğrudan bağlantı kurarak hizmet vermektedir. Mobil telefon açık olduğu sürece, mobil telefon şebekesinin en yakın baz istasyonu ile devamlı irtibat halindedir. Mobil telefon şebekesi çok sayıda hücreden meydana geldiğinden her hücre belirli bir coğrafi alanı kapsamakta ve her hücrede, mobil telefon santrali ile bağlantı kurulmasını sağlayan bir ana alıcı-verici istasyonu ve anten bulunmaktadır. Bu coğrafi alan içindeki tüm telefon görüşmeleri bu anten ve istasyon üzerinden gerçekleşmektedir. Şekil 4.3’de basit olarak bir mobil telefon ile baz istasyonu arasındaki haberleşme sistemi gösterilmiştir. Burada mobil telefondan baz istasyonuna veri aktarımı “uplink”, baz istasyonundan mobil telefona veri aktarımı “downlink” olarak Şekil 4.2’de belirtilen frekanslar üzerinden gerçekleştirilmektedir [39].



Şekil 4.3 GSM Sistemlerinin Çalışması (Uplink – Downlink).

Mobil telefon için 900 MHz ve 1800 MHz frekans bölgesinde ayrılan frekans bantları 35 MHz ve 75 MHz'dir. Sistemde her kullanıcı için 200 kHz bant kullanılmakta ve bu da 900 MHz'de 174 kanal, 1800 MHz'de ise 374 kanal kapasitesi demektir. GSM baz istasyonları ile mobil telefonlar arasında haberleşmede kullanılan radyo taşıyıcı işaretleri, "Zaman Bölmeli Çoklama" yapılarak baz istasyonlarının kanal kapasiteleri artırılmaktadır. Bu amaçla saniyede 217 çerçeve gönderilmektedir. Her çerçeve 8 zaman bölgesine ayrılmıştır ve her zaman bölgesi farklı bir mobil telefon tarafından kullanılmaktadır [54].



Şekil 4.4 GSM Sinyali Dalga Formu [54].

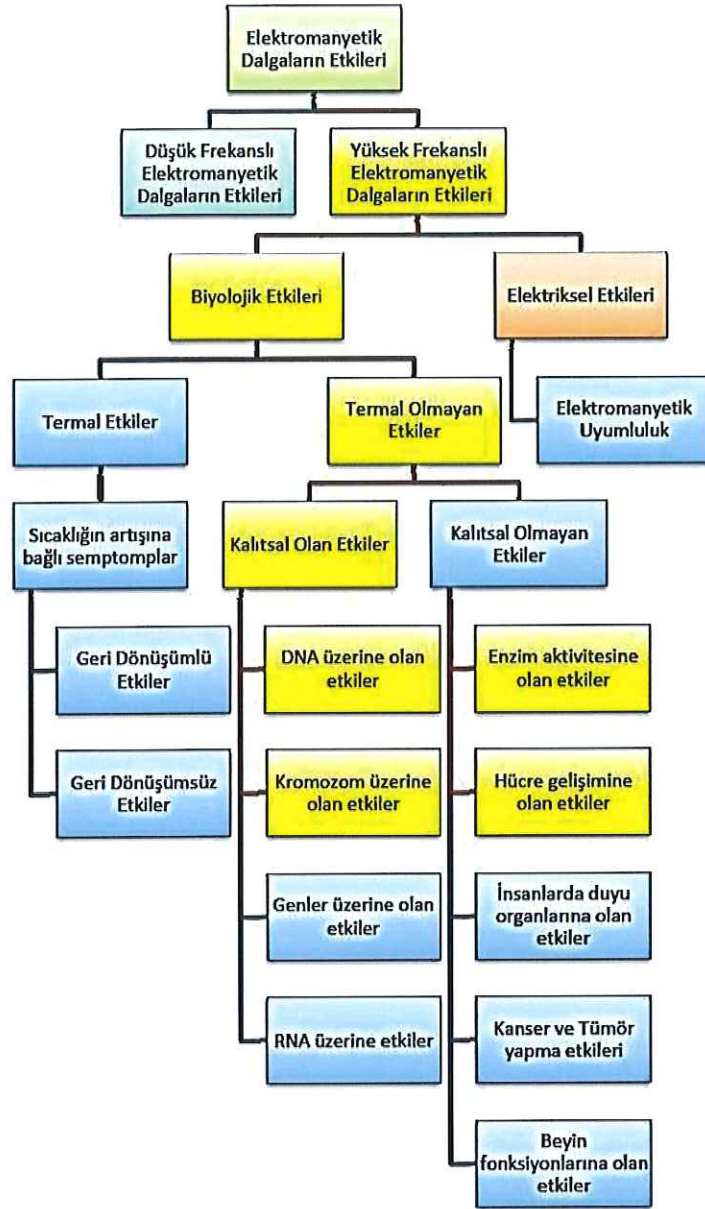
Zaman bölgelerinde toplam 8 (sekiz) adet eş zamanlı görüşme yapılabilir. Ancak 0 (sıfır) zaman bölgesinde kontrol amaçlı kullanılan yayın kontrol kanalı (Broadcast Control Channel) taşıyıcısı bulunmaktadır. Bu nedenle her BCCH, 7 (yedi) mobil telefonun eş zamanlı görüşmesinde ortak kullanılmaktadır. Eş zamanlı 7 (yedi) görüşmeden daha fazla görüşme gerekirse baz istasyonu yeni bir

BCCH oluşturmaktadır. Eğer BCCH taşıyıcı işareti kullanılmaz ise bu durumda eş zamanlı 8 (sekiz) görüşme yapılabilir. Bu durumda görüşme yapılan baz istasyonu ve şebeke ile ilgili bilgiler mobil telefonlara iletilemez. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi 4,615 msn'lik haber işareti 0,58 msn'ye (bir zaman bölgesine) sıkıştırılarak gönderilmektedir. BCCH kullanılmayan sistemlerde bilgi işaretinin gücü iletilirken, BCCH kullanılan sistemlerde 8 (sekiz) zaman bölgesinde de tam güç iletimi yapılmaktadır. Şekil 4.4'de BCCH olan ve olmayan durumlarda iletilen sinyaller ve güç seviyeleri görülmektedir [54].

Baz istasyonları için izin verilen en yüksek anten gücü, 900 MHz GSM baz istasyonları için 2 W, 1800 MHz GSM baz istasyonları için 1 W'dır. Mobil telefonlarda baz istasyonu ile haberleşme sırasında, baz istasyonuna olan mesafeye göre anten gücünü ayarlayan özel düzenekler bulunmaktadır. Mobil telefonlar baz istasyonlarının tersine görüşme yapılmıyorken baz istasyonu ile haberleşme halindedir. Fakat herhangi bir bilgi sinyali taşımadığından güç taşımamaktadır [40, 41].

4.2. Elektromanyetik Dalgaların Biyolojik Etkileri

Elektromanyetik alan yayılımı yapan cihazların kullanımının giderek artması nedeniyle, insanlar ile bu elektromanyetik dalga yayan ve gündelik hayatımızın bir parçası olmuş bu cihazların etkileşimlerinin incelenmesi oldukça önem kazanmıştır. Elektromanyetik alanların biyolojik sistemlerle fiziksel olarak nasıl bir etkileşim gösterdiği bu konudaki araştırmaların önde gelen bir konusu olmaktadır. Bugün, aynı ortamda çalışan elektromanyetik dalga yayan cihazlar birbirini etkilemektedir [52, 53]. Aynı ortamda bulunan bu cihazlar biyolojik varlıkları da etkilemektedir [39, 43]. Bilinmeyen durum bu etkinin tam olarak ne miktarda olduğudur. Biyolojik etkiler vücut içinde oluşan iç alanlara bağlı olduğundan bu iç alanların bulunması gerekmektedir [32]. Elektromanyetik dalgaya maruz kalan biyolojik yapı içerisindeki iç alanların bulunması için teorik ve deneysel çalışmaların ikisine de ihtiyaç duyulmaktadır. Teorik çalışmaların doğrulanması, iç alanların başka özelliklerinin anlaşılması ve teorik çalışmayla elde edilmeyen bazı verilerin elde edilmesi için deneysel çalışmalar da oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Elektromanyetik dalgaların etkileri ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar ana başlıklar halinde Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5 EMD'nin Etkileri ile İlgili Yapılan Çalışmalar [22, 34, 31, 35, 37].

Elektromanyetik radyasyonların dokulara nüfuz etmesi ile radyasyonun frekansı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır [34, 39]. Frekans arttıkça doku içine nüfuz edebilme özelliği azalmaktadır. Örneğin ışığın frekansı yaklaşık 10^{15} Hz civarındadır. Bu da oldukça küçük dalga boyu demektir. Bu dalga boyuna sahip radyasyon, dokulara nüfuz edememekte ancak dokunun yüzeyine etkide bulunabilmektedir. Dokulardaki etkinin tespit edilebilmesi için dokuların içindeki alan şiddetlerinin bilinmesi gerekmektedir. Mobil telefonların etkilerinin net bir şekilde tespit edilmesi için doku içindeki 900 MHz ve 1800 MHz'deki alan şiddetleri bilinmelidir. Bu nedenle dokuların özellikleri ile aynı elektriksel özellik gösteren

özel jellerden hazırlanmış yapılar üzerinde dokuların SAR değerleri tespit edilmektedir [34, 36, 39].

Mobil telefonların yaydığı elektromanyetik radyasyonun, dokular üzerinde oluşturduğu elektrik alan ve manyetik alan iki şekilde etki oluşturmaktadır.

- Termal Etkiler.
- Termal Olmayan Etkiler.

Termal etkiler, biyolojik doku tarafından yutulan elektromanyetik radyasyon enerjisinin hücre içerisinde ısıya dönüşmesi ve ısısının artması sonucu biyolojik dokuda meydana gelen değişim olarak ifade edilmektedir. Elektromanyetik radyasyonun elektrik ve manyetik alan vektörleri, biyolojik doku içerisindeki yüklü olan moleküllere bir kuvvet uygulayarak bu moleküllerin hareket etmesine neden olmaktadır. Belli bir frekansta (900 MHz, 1800 MHz) bu kuvvetlerin sürekli yön değiştirmesi ile moleküllerin doku içinde sürtünme ve diğer moleküllerle etkileşimi sonucu ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu ısı, doku tarafından sıcaklık dengelemesi gerçekleşinceye kadar mevcudiyetini sürmektedir. Genel olarak insanlarda kan dolaşımı ile dokudaki sıcaklık artışı uzaklaştırılmaktadır. Fakat dokularda veya insan vücudunda bu sıcaklık artışını ölçecek bir yöntem henüz tespit edilememiştir [34, 36, 39].

Termal olmayan etkiler, kesin olmamakla birlikte birçok açıdan değerlendirilmektedir. Termal olmayan etkiler, daha çok radyasyonun enerjisi sonucu meydana getirdiği etkilerdir. Bu konuda haberleşme mühendisliği, elektromanyetik, biyofizik, tıp dünyası ve moleküler biyoloji alanlarında çok yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan bilimsel çalışmaların tekrarlanabilir olması bu konuda yapılan araştırmaların doğruluğunu onaylayacaktır. Mobil telefonların duyu sistemi, sinir sistemi, beyin tümörleri, enzim aktivitesi, protein sentezi ve DNA (Deoksiribo Nükleik Asit) üzerine etkileri gibi daha birçok konudaki termal olmayan etkileri deneysel ve epidemiksel çalışmalar ile belirlenmeye çalışılmaktadır [33, 42, 51].

4.3. Uluslararası Kuruluşlar ve Belirlenen SAR Limit Değerleri

1974 yılında Uluslararası Radyasyondan Korunma Topluluğu (IRPA), NIR'ı oluşturmuş ve 300 GHz'e kadar olan elektromanyetik radyasyonun biyolojik etkilerini incelemekle görevlendirmiştir. 1977 yılında IRPA, INIRC'ne dönüştürülmüştür. IRPA/INIRC Kurumu, Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun Çevre Sağlığı Birimi ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)'nin destekleriyle yaptığı çalışmalar sonucu sağlık kriterlerini oluşturmuştur. Bu çalışmalara göre radyasyon, radyasyon kaynakları, ölçüm teknikleri gibi tüm gerekli bilgiler oluşturulmuştur. 1992 yılında IRPA'nın Kanada'da yapılan kongresinde Uluslararası Non-İyonize Radyasyondan Korunma Komisyonu (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: ICNIRP) kurulmuş ve IRPA kurumunun yerini almıştır.



Şekil 4.6 Sınır Değerleri Belirleyen Uluslararası Kuruluşlar.

ICNIRP, iyonlaştırmayan radyasyon konusunda çalışmalar yapmak, diğer sağlık kurullarıyla ortak çalışmak ve insan sağlığını korumak için gerekli doküman oluşturmak, öneriler hazırlamak, uluslararası standartları belirlemek ile yükümlü hükümetler üstü bir kuruluştur [53]. Bu kuruluşun dışında Federal İletişim Komisyonu (FCC), Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI), Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü (IEEE), Ulusal Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB) gibi kuruluşlar da bulunmaktadır [37].

ICNIRP güvenlik sınırlarını iki ayrı sınıfta oluşturmuştur. Bunlardan birincisi temel sınırlamalardır. Bu sınırlamalar zamanla değişen elektrik alanlar ile özgül soğurulma oranıdır [37].

Diğer güvenlik sınıfı ise referans seviyeleridir. Bu seviyeler temel sınırlamanın sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesinde ölçülebilen büyüklüklerdir. Bu seviyede sadece ölçümler değil bilgisayar simülasyonları da kullanılabilir. Ölçülen ve bilgisayar simülasyonu ile elde edilen sonuçların referans değerden küçük çıkması temel sınırlamanın sağlandığı anlamına gelir. Fakat yüksek çıkması temel sınırlamanın sağlanmadığı anlamına gelmez. Bunun için temel sınırlamanın da kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu değerler içinde GSM ve mobil telefon sistemlerinde en çok kullanılan sınır değer SAR değeridir. Dokularda ısıl yutulma ile dokunun iletkenliği arasında bir ilişki vardır. SAR değeri (4.1) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıya göre hacmi V, iletkenliği σ ve yoğunluğu ise ρ olan bir doku içindeki elektrik alan E ile gösterilmektedir [36].

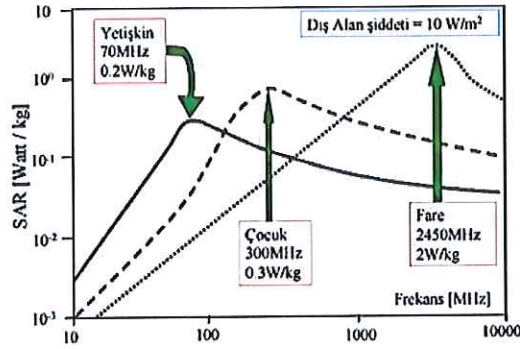
$$SAR = \int_v \frac{\sigma E^2}{\rho} dV \left(\frac{W}{kg} \right) \quad (4.1)$$

(4.1) bağıntısına göre SAR değerinin bulunması için dokudaki elektrik alanının bulunması gerekmektedir. Fakat insanlarda doku içindeki elektrik alanı ölçmek zordur. Bu nedenle insan parametreleri ile aynı özelliklere sahip özel jeller hazırlanır. Hazırlanan bu jeller bilgisayar ortamında modellenerek SAR değerleri hesaplanmaktadır. Bu ölçümler oldukça zor ve karmaşık bir işlem süreci gerektirmektedir. Bunun nedeni dokuların elektriksel iletkenliği ve dielektrik katsayılarının frekansa göre değişmesidir. Tablo 4.1'de insan kafatasına ait parametreler verilmiştir.

Tablo 4.1 İnsan Kafatasındaki Tipik Dokular ve Parametreler [34].

Doku	Hücre	ρ (Kg/m ³)	900 MHz		1800 MHz	
			ϵ_r	σ (W/m ³)	ϵ_r	σ (W/m ³)
Hava	12360	-	1	0	1	0
Kemik	2188	1850	8	0,1	8	0,16
Deri / Yağ	2318	1100	34	0,6	32	0,52
Adale	3490	1040	58,5	1,21	55	1,9
Beyin	4066	1030	55	1,23	53	1,7
Mercek	8	1050	44,5	0,8	41,5	1,29
Kornea	106	1010	52	1,85	50	2,32

SAR değerleri iki şekilde ele alınmaktadır. Birincisi ortalama SAR değeri, ikincisi ise yerel ve tepe SAR değerleridir. Bu SAR değerleri bir bölgedeki en yüksek anlık değeri ifade etmektedir. SAR değeri insan boyutlarına, polarizasyona ve frekansa göre değişmektedir. En yüksek SAR değeri, insan boyu ile elektrik alanının paralel olması ve insan boyunun işaret dalga boyunun 4/10'unda rezonansa gelmesi durumunda elde edilmektedir [39]. Bu durumda yetişkin bir insanın rezonans frekansı 70 MHz iken çocuklarda bu değer 300 MHz, farelerde ise 2450 MHz civarında olmaktadır [39]. Bu durum Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.7 Frekansa Göre SAR Değişimi [47].

Yapılan ölçümler ve çalışmalar 30 dakika süre ile 4 W/kg'lık SAR değerine sahip bir radyasyona maruz bırakılan dokunun sıcaklığının 1 °C artırdığını göstermiştir [36, 83, 84, 86]. Bu 1 °C'lik artış denek hayvanlarında davranış bozukluğuna neden olmuştur. Bu nedenle temel sınır 4 W/kg SAR olarak kabul edilmiştir. Bu maruziyetten canlıların etkilenmemesi için güvenlik sınırının konulması gerekmiştir. Bu durumda güvenlik bölgesi, işyerlerinde 4 W/kg'nin 10 kat, genel halk sağlığı için 50 kat düşük seviyede olması gerektiği tespit edilmiştir. Güvenli SAR değeri işyerleri için 0,4 W/kg, genel yerler için 0,08 W/kg olarak belirlenmiştir [36, 39, 83, 85, 86].



Şekil 4.8 Laboratuvarda Bilgisayar Simülasyonu ile EA Ölçümü [39].

Temel limitler; elektromanyetik etkileşim için farklı frekans bölgelerinde farklı büyüklüklerde verilmektedir.

- 1 Hz – 10 MHz arasında temel limitler, sinir sistemine etkilerin belirleyici olduğu akım yoğunluğu cinsinden verilmektedir.
- 100 kHz – 10 GHz arasında temel limitler bütün vücut sıcaklığı ve ilave yerel doku sıcaklıkları artışı göz önüne alınarak hem EA hem de SAR cinsinden verilmektedir.
- 100 kHz – 10 MHz arasında limitler hem akım yoğunluğu hem de SAR olarak verilmektedir.
- 10 GHz – 300 GHz arasında ise temel limitler vücudun yüzeye yakın kısımlarındaki dokuların sıcaklık artışlarına yönelik olarak güç yoğunluğu cinsinden verilmektedir [36, 39].

Frekansa göre SAR değerleri kamusal alanlar için Tablo 4.2' de ve mesleki alanlar için ise Tablo 4.3'de verilmiştir [36, 39].

Tablo 4.2 Mesleki Alanlar için SAR Limitleri (ICNIRP).

Frekans Aralığı	Tüm Vücuttaki Ortalama SAR (W/kg)	Yerel (Baş Gövde) SAR (W/kg)	Yerel (Kollarda) SAR (W/kg)
< 1 Hz	---	---	---
1-4 Hz	---	---	---
4 Hz-1 kHz	---	---	---
1-100 kHz	---	---	---
100 kHz-10 MHz	0,4	10	20
10 MHz-10 GHz	0,4	10	20

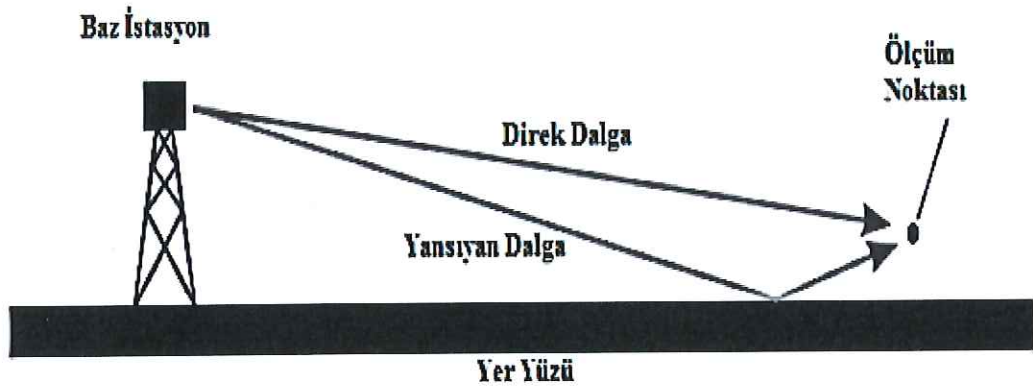
Tablo 4.3 Kamusal Alanlar için SAR Limitleri (ICNIRP).

Frekans Aralığı	Tüm Vücuttaki Ortalama SAR (W/kg)	Yerel (Baş Gövde) SAR (W/kg)	Yerel (Kollarda) SAR (W/kg)
< 1 Hz	---	---	---
1-4 Hz	---	---	---
4Hz-1 kHz	---	---	---
1-100 kHz	---	---	---
100 kHz-10 MHz	0,08	2	4
10 MHz-10 GHz	0,08	2	4

Türetilmiş limitler matematiksel olarak veya belirli bir frekansta yapılan deney sonuçlarının uyarlanması ile elde edilmektedir. Türetilmiş limitlerde işyerleri ve genel halk için güvenlik faktörleri arasında frekansa göre değişiklikler bulunmaktadır.

4.4. Düzlem Dalga Gücü Yoğunluğu

Güç yoğunluğu; temel birimi mW/cm^2 veya W/m^2 şeklinde ifade edilen “Düzlem Dalga Gücü” yoğunluğudur. Bu yoğunluğun izin verilen maksimum değeri, o alanda bulunan canlıların zarar göremeyeceği kadar küçük olmalıdır. Bu standartlar uluslararası kabul görmüş kuruluşlar tarafından tespit edilmiştir. Bu tespitler uzun süreli ölçümler, deneysel çalışmalar ve hesaplamalar sonucu yapılmıştır.



Şekil 4.9 Ana İstasyondan Uzaktaki Bir Noktada Güç Yoğunluğu Ölçümü.

Güç yoğunluğu hesaplanması basit bir şekilde yapılabilir. Hesaplama kullanılan fiziksel büyüklükler ve birimleri Tablo 4.4’de verilmiştir.;

Tablo 4.4 Güç Yoğunluğu Hesabında Kullanılan Fiziksel Büyüklükler.

P_v	Verici Gücü	(W)
P_a	Alıcı Gücü	(W)
S	Güç Yoğunluğu	(W/m^2)
G_v, G_a	Verici, Alıcı Anten Kazançları	
R	Verici-Alıcı Uzaklığı	(m)
λ	Dalga Boyu	(m)
f	İşaretin Frekansı	(Hz)
A_e	Anten Etkin Alanı	(m^2)
E	Elektrik Alan	(V/m)
H	Manyetik Alan	(A/m)

olmak üzere, gücü P_v olan bir vericiden R kadar uzaklıkta güç yoğunluğu,

$$S = \frac{P_v}{4\pi R^2} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (4.2)$$

ile bulunmaktadır [59]. Şekil 4.9'daki gibi, verici anten kazancı G_v olan belirli bir doğrultuda ışıma yapan yönlendirici tip antenden R kadar uzakta ışımanın en fazla olduğu doğrultuda güç yoğunluğu ise;

$$S = \frac{P_v G_v}{4\pi R^2} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (4.3)$$

şeklindedir. Vericiden R kadar uzaklıkta yönsüz bir anten ile çekilecek güç;

$$P = \frac{P_v G_v}{4\pi R^2} A_e (W) \quad (4.4)$$

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_a (m^2) \quad (4.5)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada A_e ile belirtilen anten etkin alanı, işaretin dalga boyu ile orantılı olduğu görülmektedir. Güç yoğunluğunu Poynting Vektörü kullanarak hesaplamak için;

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (4.6)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Elektrik alan ve manyetik alan arasındaki oran boşluğun karakteristik empedansı ile ilgilidir.

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ ve } \mu_0 = 4\pi 10^{-7}$$

olmak üzere karakteristik empedans;

$$Z = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} = 120\pi \quad (4.7)$$

ile hesaplanmakta, güç yoğunluğu;

$$S = \frac{E^2}{120\pi} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (4.8)$$

olarak elde edilmektedir.

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda oluşturulmuş sınır değerler frekansa göre değişiklik göstermektedir. Uluslararası kuruluşların belirlediği frekansa bağlı elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğu değerleri Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da verilmiştir [36].

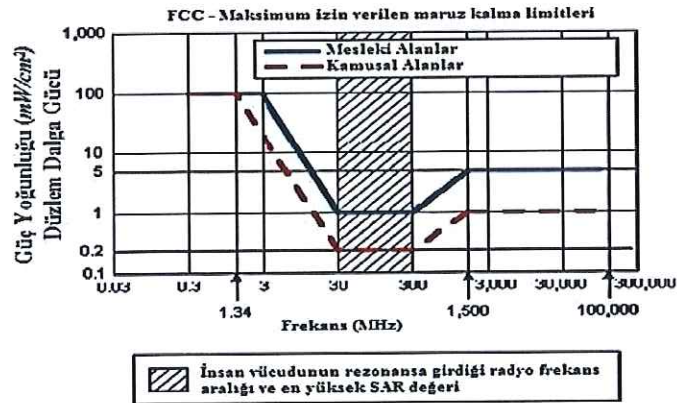
4.5. Elektriksel Alan Güvenli Maruziyet Sınır Değerleri

Tablo 4.5 Mesleki Alanlarda Ortam Güvenlik Değerleri (ICNIRP).

Frekans Aralığı	Elektrik Alan Şiddeti (E) (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (H) (A/m)	Güç yoğunluğu (S) (W/m ²)
< 1Hz	---	1,63x10 ⁵	---
1-8 Hz	20000	1,63x10 ⁵ / f ²	---
8-25 Hz	20000	2x10 ⁴ /f	---
0,025-0,82 kHz	500/f	20/f	---
0,82-65 kHz	610	24,4	---
0,065-1 MHz	610	1,6/f	---
1-10 MHz	610/f	1,6/f	---
10-400 Mhz	61	0,16	10
400-2000MHz	3 f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	f/40
2-300 GHz	137	0,36	50

Tablo 4.6 Kamusal Alanlarda Ortam Güvenlik Değerleri (ICNIRP).

Frekans Aralığı	Elektrik Alan Şiddeti (E) (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (H) (A/m)	Güç yoğunluğu (S) (W/m ²)
< 1Hz	---	3,2x10 ⁴	---
1-8 Hz	10000	3,2x10 ⁴ / f ²	---
8-25 Hz	10000	4000/f	---
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	---
0,8-3 kHz	250/f	5	---
3-150 kHz	87	5	---
0,15-1 MHz	87	0,73/f	---
1-10 Mhz	87 f ^{1/2}	0,73/f	---
10-400 MHz	28	0,073	2
400-2000 MHz	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	f/200
2-300 GHz	61	0,16	10



Şekil 4.10 FCC Tarafından Belirlenen Maksimum Düzlem Dalga Gücü Değerleri.

Şekil 4.10’da gösterilen aralıkların detaylı değerleri Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.7 Mesleki Alanlarda Güvenlik Değerleri (FCC).

Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (E) (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (H) (A/m)	Güç yoğunluğu (S) (mW/cm ²)	Ortalama Maruz Kalma Süresi (Dakika)
0,3-3	614	1,63	100	6
1,34-30	1842/f	4,89/f	900/f ²	6
30-300	61,4	0,163	1	6
300-1500	---	---	f/300	6
1500-100000	---	---	5	6

Tablo 4.8 Kamusal Alanlarda Güvenlik Değerleri (FCC).

Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (E) (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (H) (A/m)	Güç yoğunluğu (S) (mW/cm ²)	Ortalama Maruz Kalma Süresi (Dakika)
0,3-3	614	1,63	100	30
1,34-30	824/f	2,19/f	180/f ²	30
30-300	27,5	0,073	0,2	30
300-1500	---	---	f/1500	30
1500-100000	---	---	1	30

Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’e göre hesaplanmış GSM900 ve GSM1800 sistemleri için genel yaşam alanlarındaki elektrik alan kontrolsüz etkilenme sınır değerleri Tablo 4.9 ve Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.9 900 MHz için Kontrolsüz Etkilenme Sınır Değerleri [38].

900 MHz İçin Sınır Değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti (ORTAM)	41,25 V/m	---

Tablo 4.10 1800 MHz için Kontrolsüz Etkilenme Sınır Değerleri [38].

1800 MHz İçin Sınır Değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti (ORTAM)	58,33 V/m	---

Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.07.2001 tarihli resmi gazetede yayınlanan yönetmelikte yer alan sınır değerlerin belirlenmesinde, ICNIRP kılavuzunda yer alan sınır değerler esas olarak alınmış olup kontrolsüz etkilenmede halka açık kamusal alanlarda kişiye etkiyecek en yüksek elektrik alan değeri **10,23 V/m** olarak belirlenmiştir [21, 36, 83, 85, 86, 87, 88].

Ayrıca GSM sistemleri için uluslararası kuruluşların kabul etikleri düzlem dalga gücü yoğunlukları Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.11 Düzlem Dalga Gücü Yoğunlukları (ICNRP).

Şebeke	Güç Yoğunluğu
GSM 1800 Mobil Telefonlar	0,9 mW/cm ²
GSM 900 Mobil Telefonlar	0,45 mW/cm ²

Tablo 4.12 Düzlem Dalga Gücü Yoğunlukları (ANSI/IEEE).

Şebeke	Güç Yoğunluğu
GSM 1800 Mobil Telefonlar	1,2 mW/cm ²
GSM 900 Mobil Telefonlar	0,57 mW/cm ²

Tablo 4.13 Düzlem Dalga Gücü Yoğunlukları (FCC).

Şebeke	Güç Yoğunluğu	
	Kamusal Alan	Mesleki Alan
GSM 1800 Mobil Telefonlar	1 mW/cm ²	5 mW/cm ²
GSM 900 Mobil Telefonlar	0,5 mW/cm ²	2,5 mW/cm ²

Cep telefonları düşük güçlü RF sinyalleri gönderen ve alan cihazlardır. Elektromanyetik dalga spektrumu içinde radyo dalgaları grubunda yer alır. Günümüzde kullanılan cep telefonları 800–1900 MHz frekans aralığında çalışmaktadır. Cep telefonları acil haberleşme aygıtlarına göre düşük (1 W’den daha az), telsiz telefonlara göre yüksek güçle çalışır. Cep telefonu operatörleri tipik olarak 0,25 W güçte işletilir. Yeni dijital sistemlere göre analog sistemler daha yüksek güçte işletilir. Eski telsiz telefonlar da analog standartlara göre işletilir. Modern bir dijital işletimin verdiği güç, iş ortamında ev ortamına göre daha yüksektir [29].

Cep telefonundan radyasyona hedef olma miktarı cep telefonunun iletildiği sinyalin gücüne bağlıdır. Ana istasyondan gelen zayıf frekanstaki dalgalar cep telefonu tarafından güçlendirilerek ana istasyona geri iletilmektedir. Ana istasyondan uzaklaştıkça veya dağ, tepe, bina gibi engeller arttıkça telefonun güç düzeyi artmaktadır. Baz istasyonlarından maruziyet gün içinde değişmekte, gece boyunca elde edilen en düşük değerler gündüz iki katına çıkmaktadır. Binalarda, bina yapısının tipine bağlı olarak güç yoğunluk düzeyi dışarıdan 100 kata kadar daha düşük olabilmektedir. Binaların üst katlarında maruziyet iki kat kadar fazla

bulunmuştur. Kullanıcı hareket halindeyken, kırsal alana ve kentsel alana göre daha fazla güç yoğunluğuna maruz kalır. Çünkü baz istasyonundan uzaklık ve RF trafiği güç yoğunluğunu etkilemektedir. Cep telefonlarının çevreye yaydığı radyasyon dışında ana istasyonların çevreye yaydığı dalgalara da maruz kalılabilmektedir. Yüksek yerlere yerleştirilen istasyonlar ufuk çizgisine göre 6 derecelik bir açı ile radyasyonu yaydıklarından yakın çevrelerine önemli derecede elektromanyetik dalga yaymaz ve genel olarak yüksek enerji hatlarının oluşturduğu elektrik alana eşit kabul edilebilir [29].

Cep telefonları ile baz istasyonlarının radyasyon yayma şekilleri farklıdır. Cep telefonları konuşma süresince ve açık durumda belli aralıklarla radyasyon yayarken, baz istasyonları sürekli radyasyon yayar. Baz istasyonları cep telefonu ile iletişimi sağlayan düşük güçlü radyo antenleridir. Kapsama alanlarının büyüklüğüne göre birkaç Watt' tan 100 W'ın üzerine ulaşabilen RF dalgaları yayarlar. Baz istasyonu antenlerinin arka yüzlerinde, yukarı veya aşağı doğrultularında önemli sayılabilecek bir RF radyasyonu olmadığından etrafındaki binaların içinde ve yan yüzlerindeki RF alan şiddeti normalde düşüktür. Baz istasyonundan uzaklaşıldıkça RF alanı şiddeti önce artar, belirli bir uzaklıktan sonra düşer [29].

Baz istasyonlarının sayısı arttıkça, her istasyonun üstlendiği iş hacmi azalır ve böylece aygıtlar tam kapasite ile çalışmak zorunda kalmaz. Cep telefonundan yayılan elektromanyetik radyasyon, bağlantı aşamasında en üst seviyeye çıkar lakin bağlantı sağlanınca azalır. Dolayısıyla konuşmak istediğimiz numarayı çevirir çevirmez telefonu hemen kulağımızla temas ettirmemek gerekir. Açık olan bir cep telefonu belirli aralıklarla içinde bulunduğu hücrenin baz istasyonuna sinyal gönderir. Bu yüzden cep telefonu kullanıcılarının RF ile etkileşimi, baz istasyonu yakınında yaşayanlara göre çok yüksektir. RF alan şiddetine olan maruziyet cep telefonlarına olan uzaklık arttıkça hızla düşmektedir.

4.6. Etki Mekanizması

Cep telefonlarından yayılan RF enerjisi vücut tarafından soğurularak ısı oluşturur. Bu ısı, vücutta ısı dengeleme sistemi tarafından bertaraf edilir. Su içeriği fazla olan dokulardaki (beyin, göz, kas, kan, deri, sinir dokusu), su içeriği az olan dokulara göre daha fazla sıcaklık artışı olur. Termal etkileri üzerine var olan bulgular hücre, doku ya da vücut düzeyinde 1 °C ya da daha fazla sıcaklık artışı olduğu

yönündedir. Risk ile ilgili sınır değer rehberleri, bu termal etkilere dayanır. Deneysel çalışmalar RF alanların tümör başlatıcısı olmadığını fakat karsinojenik bir etki varsa tümörü geliştirici ya da karsinojenlerin hücre düzeyinde içeri alınmasını artırabileceğini öngörmektedir.

Cep telefonu başından 10 cm veya daha uzakta, eller serbest kullanan birinin etkileşeceği radyasyon kulağa yapışık tutan birine göre daha düşüktür. Cep telefonlarından kaynaklanan RF alanlar frekansa bağlı olarak 1 cm derinliğe dek ulaşabilir.

Cep telefonu tarafından yayılan radyasyonun yaklaşık olarak %50'si kullanıcının başı ve telefonu tutan el tarafından soğurulur. SAR dokulardaki RF kaynaklı sıcaklık artışı ile ilişkilendirilen biyolojik etkilerin ölçüm birimi olup, dokunun iletkenliği ile ilgilidir ve iletkenlik dokunun su içeriği ile artar. Birimi, doku kilogramı başına absorbe edilen enerji anlamında W/kg olarak ifade edilir.

EMR'nin kısa ve uzun süreli maruziyetleri neticesinde ortaya çıkan bu semptomların hangisinin SAR' dan, hangisinin EA' dan veya hangisinin sıcaklıktan kaynaklandığı kesin çizgilerle birbirinden ayırtılamamaktadır. O nedenle tüm bu semptomlar EMR maruziyeti sonucu ortaya çıkan semptomlar olarak değerlendirilmektedir.

4.7. Cep Telefonları ve Sağlık Etkileri

RF maruziyetinin doku ve hücreleri ısıtması ve vücutta buna karşı oluşan fizyolojik tepki zararlı ya da zararsız bazı değişimlere neden olabilir. Tüm vücut ısısı artışı özellikle bebekleri, çocukları, yaşlıları etkileyebilir. Isıyı dağıtma kapasitesi sınırlı organlar olan göz lensi, testis ve sinir sistemi lokal olarak etkilenmeye daha yatkındır. EMR'nin sağlık etkileri ile ilgili iddialar beyin aktivitesindeki değişiklikler ile bazı kanser türlerine neden olması üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Çocuklar gittikçe artan şekilde elektromanyetik radyasyona maruz kalmaktadır. Santral sinir sistemi gelişme döneminde ve beyin dokusu daha iletken, RF penetrasyonu başın büyüklüğü için relatif olarak daha fazla ve erişkinlere göre yaşam boyu maruziyet daha uzundur [55].

Genel bakışla EMR yayan cihazların kullanımına bağlı olarak ortaya çıkabilecek sağlık sorunlarını, RF'nin doğrudan etkileri ve dolaylı etkileri olarak iki grupta toplamak mümkündür.

4.8. Radyo Frekansının Doğrudan Etkileri

4.8.1. Sık Görülen Semptomlar

Cep telefonunu yoğun kullananlarda yorgunluk, baş ağrısı, kulak üzerinde ve arkasında yanma, bulanık görme, işitme kaybı ve vertigo gibi semptomlar ortaya çıkabilmektedir. Suudi Arabistan'da yürütülen bir çalışmada cep telefonu kullanmakta olan 437 katılımcıda baş ağrısı en sık olmak üzere uyku bozukluğu, gerginlik, yorgunluk ve baş dönmesi semptomlarına rastlanmıştır [56]. Semptomların sorgulandığı çalışmaların birinde ise İsveç ve Norveçli cep telefonu kullanıcılarında haftada en az bir semptom yaşadığını belirtme oranı %31 bulunmuş ve en yaygın semptomun kulak çevresinde ısınma olduğu saptanmıştır [57]. Dijital ve analog cep telefonu kullanımını semptomlar açısından karşılaştıran bir çalışmada, her iki sistemde de herhangi bir semptom için artmış risk görülmemiş, yalnız görüşme sürelerinin uzaması ile haftada en az bir kez yorgunluk, baş ağrısı, yanma hissi, sıcaklık artışı, gerginlik gibi semptomlar için olasılık oranı artmıştır [58]. Bir çalışmada da, cep telefonu kullanma süresi ile baş ağrısı prevalansı arasında pozitif ilişki bulunmuştur [59]. Yapılmış deneysel çalışmalardan birinde, semptomların cep telefonu kullanımına maruz bırakılan katılımcılar tarafından subjektif değerlendirilmesi istenmiş, ortalama değerler arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır [60]. Bir başka çalışmada da uyku bozukluğu başı çeken semptom olarak ortaya çıkmıştır [61].

4.8.2. Üreme Üzerinde Etkiler

Elektromanyetik radyasyona mesleki maruziyeti bulunan kişiler üzerinde olumsuz bazı reproduktif sonuçlar bildirilmiştir. Çeşitli araştırmalarda gecikmiş gebelik, spontan abortus, ölü doğum, babanın maruziyeti sonrası erken doğum, doğum defektleri ve artmış kadın erkek oranları incelenmiş, bu olumsuz reproduktif sonuçlar içinde en güçlü kanıtlar spontan abortus yönünden bulunmuştur. Semen parametreleri incelenen çalışmalardan bazıları sperm yoğunluğunun azaldığını gösterirken, sperm miktarı, morfolojisi, hareketliliği gibi diğer parametrelerde değişik sonuçlar bulunmuştur [29]. Deneysel bir çalışmada 900 MHz RF'a maruz

birakılan deney hayvanlarında kontrol grubuna göre testiküler dokuda biyolojik ve morfolojik etkiler görülmüş, ancak spermatogenezis üzerine RF'ın etkili olabileceği savını desteklememiştir [62].

4.8.3. Kalp ve Kan Damarları Üzerinde Etkiler

Bu konuda yine çoğu çalışma mesleksi RF maruziyetini incelemiştir. Kalp hastalıkları prevalansının, RF ile karşılaşan grupta daha yüksek olduğunu bulan bir çalışma dışında, çalışmaların çoğu kardiyovasküler hastalık veya semptomlar ile RF ilişkisini desteklememektedir [29, 63].

4.8.4. Malignite Üzerinde Etkiler

Epidemiyolojik kanıtlar kanser ve RF enerji ilişkisini göstermekte sınırlıdır. Hayvan çalışmaları da RF enerjinin termal olmayan yoğunlukta kanser sebebi olabileceğini ya da geliştirebildiğini söylemek için tutarlı delil sağlamamaktadır [64, 65]. Ancak epigenetik etki olasılığı bütünüyle değerlendirilmediğinden ve epidemiyolojik çalışmalar sınırlı olduğundan ilave çalışmalar yapmak gereklidir [29, 66]. Tümör söz konusu olduğunda rastladığımız çalışmaların çoğunda beyin tümörü ve akustik nörom riski değerlendirilmektedir. İsveç'teki bir vaka-kontrol çalışmasında cep telefonu kullanılan taraf ile beyin tümörü tarafı arasında ilişki bulunmuştur [67]. Daha geniş çaptaki benzer araştırmalarda, analog ve telsiz telefonlar için beyin tümörü gelişiminde artmış olasılık oranı bulunmuş, dijital telefonlar için ise olasılık oranı artmamıştır. Öte yandan, analog telefon kullanım tarafı ile temporal tümör yerleşimi tarafı, akustik nörom ile analog telefon kullanımı ilişkili bulunmuştur [68, 69].

Amerika'da yürütülen bir çalışmada temporal loba lokalize tümörler için telefon kullanım tarafıyla ilişki bulunmuş, akustik nöromu inceleyen bir diğer çalışmada bu tümör tipi ile telefon kullanım düzeyi ya da tarafı arasında ilişki bulunmamıştır [70, 71]. Amerika'da hastaneye dayalı bir vaka-kontrol çalışmasında analog olanlar da dahil cep telefonunun kümülatif kullanımı ile histolojik tip ya da anatomik lokalizasyon ilişkisi görülmemiştir [72]. Finlandiya'da yürütülmüş bir vaka-kontrol çalışmasında ulusal ağ abonelik kayıtlarına göre kullanıcılar belirlenmiş, beyin tümörleri için analog telefon kullanımı ile odds oranı 2.1, dijital telefon kullanımı ile odds oranı 1, gliom için her iki tip telefon kullanımı ile odds oranı ise 1.5 olarak bulunmuştur [73]. Amerika ve Danimarka'da yürütülmüş iki ayrı

kohort çalışmasında telefon kullanıcılarında kanser mortalitesi ve standardize insidans oranları arasında fark görülmemiştir [74, 75]. Uveal melanom, parotid gland tümörü ve lösemiye inceleyen diğer bazı çalışmalarda da cep telefonu kullanımının riski artırıp artırmadığını destekleyen güvenilir ve tutarlı sonuçlara ulaşılamamıştır. [29].

4.8.5. Katarakt Üzerinde Etkiler

Göz lensinin ısıya duyarlı olması nedeniyle, RF'ın katarakt insidansını artırıcı potansiyel bir etkisinden söz edilebilir. Bazı çalışmalar mesleksel RF maruziyeti ile sınırdan artmış bir etkiden söz etmektedir [29].

4.8.6. Semptomlara Genel Bakış

İngiliz Tabipler Birliği tarafından Mayıs 2001'de yayınlanan bir raporda [57];

- RFR arttıkça kanserli olguların arttığı,
- Düşük düzeyde bile sunuk kalınan RFR'nin kadınlarda doğurganlığı azalttığı,
- Yüksek düzeyde sunuk kalınan RFR'nin retinada, iriste ve korneada hasara yol açtığı,
- Bellek, reaksiyon zamanı ve uyku düzeninin RFR'ye sunuk kalınmadan olumsuz etkilendiği,
- RFR'ye uzun süre sunuk kalmanın baş ağrısına, kan basıncında yükselmeye, baş dönmesine, baş bölgesinde sıcaklığın artmasına, kulak ağrısına, kulak arkasında yanmaya, sinirliliğe ve cilt yanması gibi bulgulara yol açtığı açıklanmıştır.

Sürekli kullanılan bazı cihazlardan yayılan elektrik alan ve manyetik alan değerleri Tablo 4.14 ve Tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.14 Bazı Cihazlardan Yayılan Elektrik Alan ve Manyetik Alan Değerleri.

Elektrik Alan Değerleri (V/m)	
Ekmek Kızartma makinesi	40
Tüplü Televizyon	60
Müzik Seti	90
Buzdolabı	90
90 kV hat (30 m Mesafede)	100
400 kV hat (100 m Mesafede)	200
Elektrikli battaniye	250

Manyetik Alan Değerleri (Micro T)	
Buzdolabı	0,3
Ekmek Kızartma makinesi	0,8
Müzik Seti	1
90 kV hat (30 m Mesafede)	1
400 kV hat (100 m Mesafede)	1,2
Bilgisayar Monitörü	1,4
Tüplü Televizyon	2
Elektrikli Battaniye	3,6
Traş Makinesi	0,5

İnsan sağlığı açısından zararlı olabilecek sınırlamaları belirlemek için temel limitler ve türetilmiş limitler tanımlanmaktadır. Standartlarda temel limit olarak, ortalama insan vücudunda vücut sıcaklığının 1 °C artıracak elektromanyetik enerjinin soğurulmasının zararlı olduğu tanımından gidilerek 4W/kg değeri sınır değeri olarak kabul edilmiştir [36, 83, 84, 86]. Avrupa ülkelerinde halk için baş bölgesi SAR limiti 2 W/kg iken bu değer Amerika'da 1,6 Watt/kg olarak kabul edilmektedir. Öte yandan kol ve bacak bölgeleri için SAR üst limiti 4 W/kg kabul edilmiştir. İşyerleri için 0,4 W/kg ve halka açık genel yerler için 0,08 W/kg olarak Bu kabule göre kilogram başına dokuların soğurabileceği en yüksek güç değeri 4 Watt/kg'dır. İşyerleri için 10 kat, halka açık yerler için 50 kat güvenlik payları esas alınarak temel limitler belirlenmiştir. Bu değerler tüm vücut için 6 dakikalık etkilenme süresi için verilen SAR değerleridir [36, 39, 83, 85, 86].

İnsan bedeninin elektriği iletme özelliği bulunmaktadır, dolayısıyla insan bedeni iletkenidir. Ayrıca, bir elektrik alanına maruz kalındığında, elektrik yükleri indüksiyon olgusunu takiben bedenin yüzeyinde birikirler. Elektrik yüklerinin birikmesi, kendini farklı şekillerde gösterir. Temas sırasında cilt ile cisimler arasında mikro-kıvılcımlar görülür. Bu olgular ciltle temas eden cisimlerin iletken olduklarını gösterdikleri gibi, insan tarafından daha fazla algılanabilir niteliktedirler. Saçların ve vücut tüylerinin titreşmesi (elektriklenmesi) gayet çarpıcı bir şekilde, statik elektriklenme durumunda saçların kafa derisi üzerinde dikleşmesiyle kendini gösterir. Bu karakteristikler elektrik alanının kişiye bağlı olarak az veya çok algılanmasını sağlar. Elektrik alanının algı eşikleri kişiden kişiye değişir;

- 10 kV/m altında, çok az sayıda insan ciltlerinin üzerine üfleniyormuş gibi hisseder,
- 10-20 kV/m arasında, kimi insanlar derilerinde iğnelenme hisseder,
- 20 kV/m itibaren, insanların %5' inden fazlası iğnelenme hissederken bazıları bunu nahoş bir his olarak nitelendirmektedir.

Elektrik alanının aksine, insan vücudu manyetik alana duyarlı değildir. Bununla birlikte, vücut iletken olduğundan manyetik bir alana maruz kalması vücutta akımlara neden olur. Ancak bu akımlar oldukça düşük yoğunluktadır ve genellikle karşılaşılan etki seviyelerinde hissedilmezler bile. Yalnızca yoğun manyetik alanlara maruz kalınması anlık bir algıyı beraberinde getirebilir; ancak elektrik alanlarında olduğu gibi algı eşiği kişiden kişiye oldukça değişmektedir.

Cep telefonu zararları üzerine birçok araştırma yapılmaktadır. Kandaki zararlı proteinlerin ve toksinlerin beyne girmesini engelleyen savunma mekanizmasını devre dışı bırakmaya, yorgunluk, baş ağrısı, deride yanma hissi ortaya çıkarmaya, yüksek tansiyon oluşmasına, baş ağrıları, baş dönmesi ve dikkatin dağılmasına sebep olduğuna dair bulgular elde edilmiştir.

İngiltere, İsveç ve ABD; EM alanların akut myeloid lösemi riskini artırdığını rapor etmişlerdir. Günlük yaşamda maruz kalınan manyetik alanların beyin tümörlerini, özellikle erkeklerde lösemi ve akut myeloid lösemiye artırdığı gözlenmiştir. 2 mG gibi çok küçük manyetik alanlar lösemi, lenfoma ve yumuşak doku sarkomlarını daha fazla olmak üzere tüm kanser türlerini 1,4 katı artırmaktadır. Elektrik hatlarında çalışanların beyin kanserine yakalanma oranı 7 kat fazla bulunmuştur.

Kamuoyundan saklanmaya çalışılan olaylardan en canlı gerçek Dr. George Carlo'dur. Dr. Carlo 1993 yılından başlayarak uzun süre cep telefonlarının zararları üzerine araştırmalar yapmış ve zararlı olmadığını savunmuştur. Ancak; Dr. Carlo 1999 yılında kaleme aldığı bir yazıda uzun süren araştırmaları sonunda bazı sorunlarla karşılaştığının ve bunların mutlak suretle üzerine gidilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Özellikle cep telefonlarının kullandığı frekanstaki EM alanın 1993 yılında Belçikalı bilimciler tarafından P53 geninde hasara yol açtığı gösterilmesi, aynı frekansın (2.45 GHz) farelerde beyin lezyonu oluşturduğu, Washington

Üniversitesinde (1995) gösterilmiştir. WHO Electromagnetic Fields Projesi Başkanı M.Repacholi'nin cep telefonu frekansının farelerde lenfomaya neden olduğu bulgusunun yayınlanması WTR (Wireless Technology Research) tarafından ret etmiştir.

Bir cep telefonu üretici firması adına araştırma yapan ünlü Biyofizikçi Rose Adey'in araştırma sonuçlarını kabul etmeyen ilgili firma, konu ile ilgili tüm bilimsel çalışmaları durdurmuştur. Bu nedenle Fransa'da son bir yılda her iki cinste de beyin tümörü sayısında %31 artış görülmesi bize sunulan kaynakları sınırsız ve sorumsuz kullanamayacağımıza ilişkin önemli göstergelerden yalnızca birkaçıdır.

Elektromanyetik alana maruziyetin kısa vadedeki etkileri:

- Stres
- Görüş alanının daralması
- Kulak bölgesinde ısınma
- Kalp pilinin bozulma riski
- Kulak çınlaması
- Yorgunluk hissi
- Konsantrasyon bozulması
- Baş ağrıları
- İşitmede geçici aksaklıklar
- Sersemleme

Elektromanyetik alana maruziyetin uzun vadedeki etkileri:

- Genetik yapının bozulması
- Beyin hücrelerinde ölüm ve beyin tümörü
- Beyaz kan hücresi (lenfoma) kanseri
- Kan beyin bariyerinin zedelenmesi
- Kalp rahatsızlıkları
- Hafıza zayıflaması
- Kalıcı işitme bozuklukları
- Embriyo gelişiminin zarar görmesi
- Düşük riskinin artması
- Kan hücrelerinin bozulması

4.9. Dolaylı Sağlık Etkileri

- Cep telefonu kullanımı, dikkat dağınıklığına bağlı kazalara sebep olabilmektedir. Avustralya'da yürütölen bir çalışmada 17 yaş ve üzerinde olup, cep telefonu kullanan ve trafik kazası geçirerek hastaneye başvuran, hastanede göröşölerek ve cep telefonu kullandığı şirket kayıtlarından doğrulan 456 sürücü ile bir çalışma yapılmış ve kazadan önce cep telefonu kullanımının 4 kat artmış risk ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Eller serbest kullanımı ise kaza riskini azaltmamaktadır [76].
- Kişilerde pace-maker, implante defibrilatör, işitme cihazları etkilenebilir.
- Yoğun bakım ünitelerinde, taşıtlarda bazı sistemleri etkileyerek dolaylı zararlara neden olabilir.
- Psikolojik etkiler olarak; stres, anksiyete, uyku bozukluğu RF etkisi olarak ortaya çıkabileceği gibi, ulaşılmaz olduğunda ise aradığı kişiye ulaşılmadığında stres ve kayđı gibi psikolojik etkiler ortaya çıkabilir [61].

BEŞİNCİ BÖLÜM

SENARYOLAR VE SINIR DEĞER HESAPLAMALARI

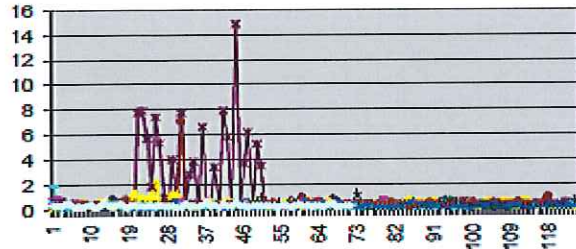
5.1. Cihazların Elektriksel Alan Değerleri

5.1.1. Cep Telefonu

Cep telefonlarına ait ölçümler; bekleme, arama, konuşma, aranma, SMS gönderme, MMS gönderme durumları için ayrı ayrı yapılmıştır. Günümüzde toplu yaşam bölgelerinde internet bağlantısını wi-fi ile sağlayan modemler mevcut olduğundan bu çalışmamızda cep telefonlarından internet bağlantısının bağlı olduğumuz GSM operatöründen değil de wi-fi üzerinden sağlandığı farz edilmiştir.

5.1.1.1. Bekleme Durumu

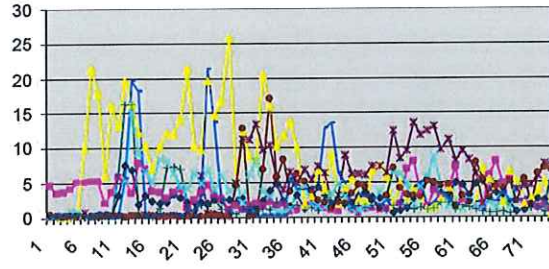
Cep telefonun açılmasıyla çağrı oluşturma moduna kadar olan sinyalleşmelerin meydana getirdiği elektromanyetik alan değerleri 10 farklı cihaz için ölçülmüş olup ortalama 0,41 V/m olmak üzere 14 V/m mertebelerine kadar elektrik alan değerleri kaydedilmiştir [79].



Şekil 5.1 Örnekleme Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (Bekleme).

5.1.1.2. Arama Durumu

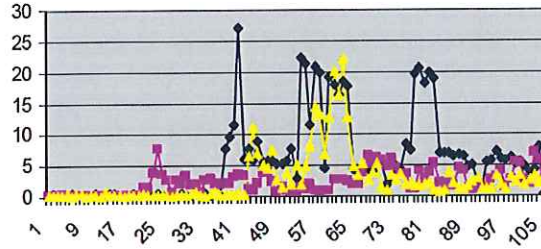
Arama sırasında cep telefonunun yaydığı elektrik alan şiddeti ölçümlerinde ortalama alan şiddeti 3,72 V/m olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları incelendiğinde ani alan şiddeti değerlerinin 5 V/m ile 25 V/m arasında değerler aldığı gözlenmiştir [79].



Şekil 5.2 Örneklem Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (Arama).

5.1.1.3. Konuşma Durumu

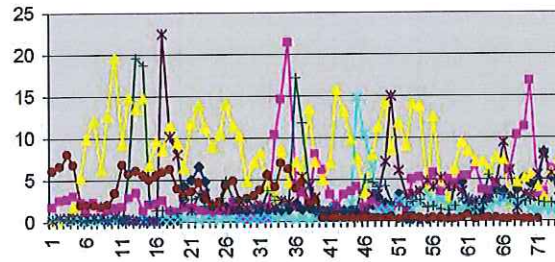
Konuşma sırasında cep telefonunun yaydığı alan şiddeti ölçümlerinde ortalama alan şiddeti 4,35 V/m olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları incelendiğinde ani alan şiddeti değerlerinin 10 V/m ile 27 V/m arasında değerler aldığı gözlenmiştir [79].



Şekil 5.3 Örneklem Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (Konuşma).

5.1.1.4. Aranma Durumu

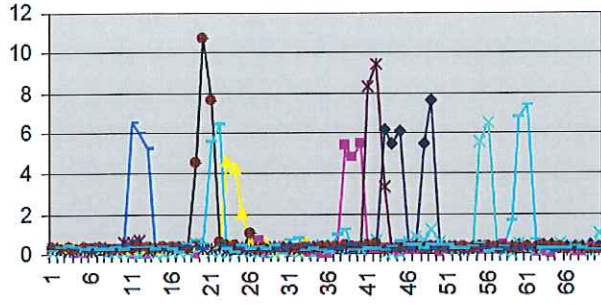
Aranma sırasında cep telefonunun yaydığı alan şiddeti ölçümlerinde ortalama alan şiddeti 3,38 V/m olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları incelendiğinde ani alan şiddeti değerlerinin 5 V/m ile 15 V/m arasında değerler aldığı gözlenmiştir [79].



Şekil 5.4 Örneklem Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (Aranma).

5.1.1.5. SMS Gönderme Durumu

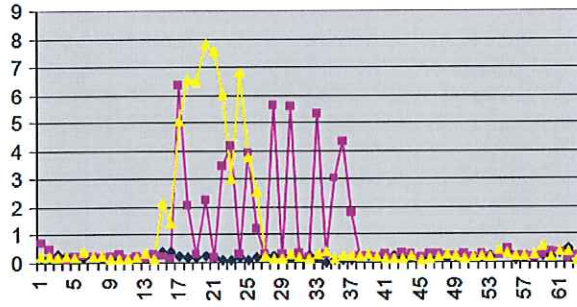
SMS gönderimi sırasında cep telefonunun yaydığı alan şiddeti ölçümlerinde ortalama alan şiddeti 1,02 V/m olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları incelendiğinde ani alan şiddeti değerlerinin 6 V/m ile 10 V/m arasında değerler aldığı gözlenmiştir [79].



Şekil 5.5 Örneklem Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (SMS).

5.1.1.6. MMS Gönderme Durumu

MMS gönderimi sırasında cep telefonunun yaydığı alan şiddeti ölçümlerinde ortalama alan şiddeti 1,71 V/m olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları incelendiğinde ani alan şiddeti değerlerinin 2 V/m ile 8 V/m arasında değerler aldığı gözlenmiştir [79].

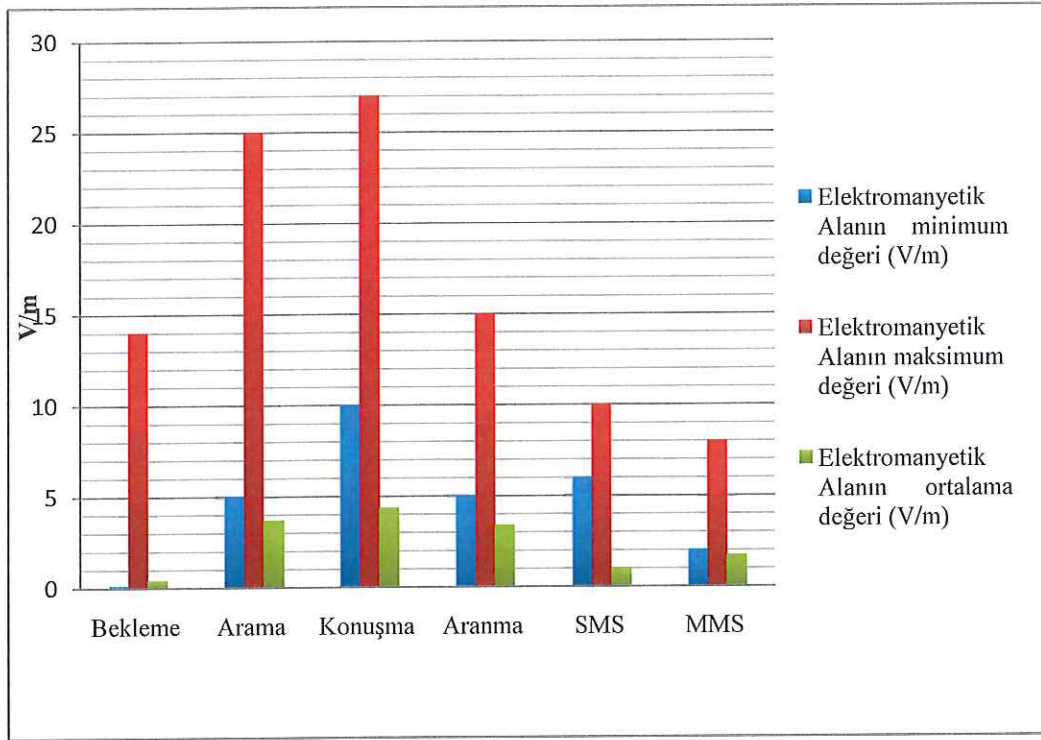


Şekil 5.6 Örneklem Zamanı-Elektrik Alan Şiddeti (V/m) (MMS)

Yapılan çalışmada ölçümler sırasında cep telefonları ile haberleşmenin yapıldığı uzaklıklarda ölçülen elektromanyetik alan şiddetlerinin zaman ortalamalarının ulusal ve uluslararası standartlarda verilen değerlerin altında kaldığı gözlenmiştir. Buna rağmen cihazdan cihaza farklılık göstermesine rağmen oluşan tepe değerlerin verilen sınır değerlerin üzerine sıklıkla çıktığı görülmüştür [79].

Tablo 5.1 GSM Cihazların Ölçüm Sonuçları [79].

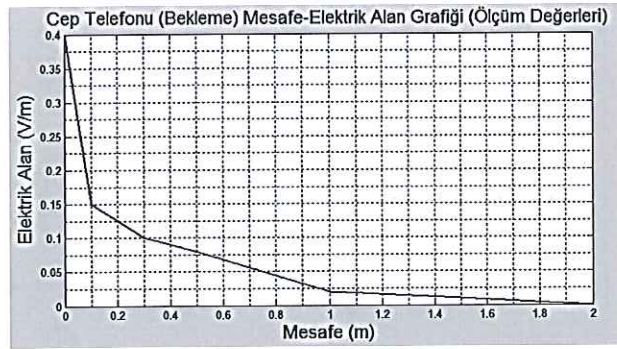
	Elektrik Alanın Minimum Değeri (V/m)	Elektrik Alanın Maksimum Değeri (V/m)	Elektrik Alanın Ortalama Değeri (V/m)
Bekleme	0,1	14	0,41
Arama	5	25	3,72
Konuşma	10	27	4,35
Aranma	5	15	3,38
SMS	6	10	1,02
MMS	2	8	1,71



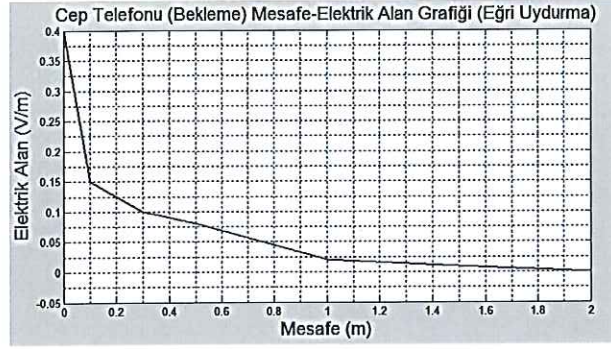
Şekil 5.7 Cep Telefonu Kullanımında Yayılan Elektrik Alanının Mukayesesi.

Tablo 5.2 Mesafeye Bağlı Ortalama EA Değerleri (Cep Telefonu) [79, 81].

Mesafe (m)	Elektrik Alan (V/m)	
	Bekleme (ortalama)	Konuşma (ortalama)
0 (temas hali)	0.41	4.35
0.1	0.15	1.65
0.3	0.1	1.1
0.5	0.08	0.88
1	0.02	0.22
1.5	0.01	0.11
2	0	0

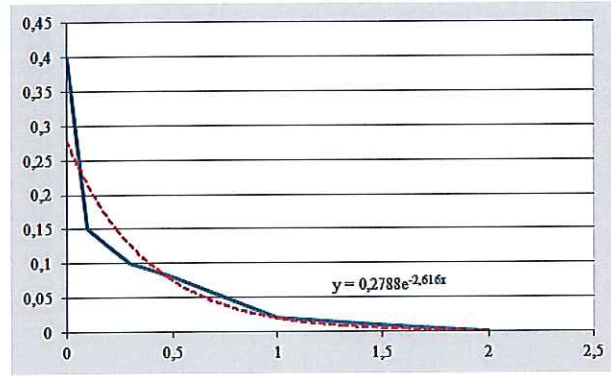


Şekil 5.8 Cep Telefonu Mesafe-EA Grafiği Ölçüm Değerleri.

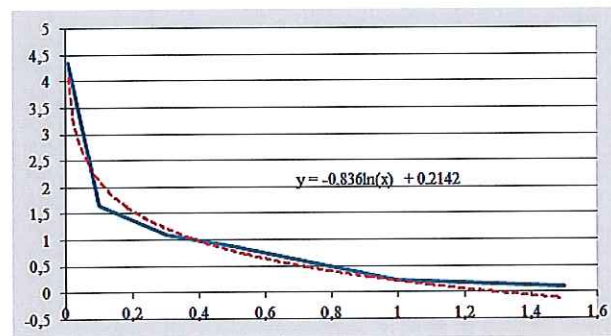


Şekil 5.9 Cep Telefonu Mesafe-EA Grafiği Eğri Uydurma.

Cep telefonu sistemlerinin oluşturduğu elektriksel alan değerleri kullanılarak eğri uydurma yöntemiyle elde edilen bekleme ve konuşma anındaki elektriksel alan denklemleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.10 Cep Telefonu Bekleme Anı için Eğri Uydurma Denklemi.



Şekil 5.11 Cep Telefonu Konuşma Anı için Eğri Uydurma Denklemi.

$$E_{\text{bekleme}} = 0,2788e^{-2,616m} \quad (5.1)$$

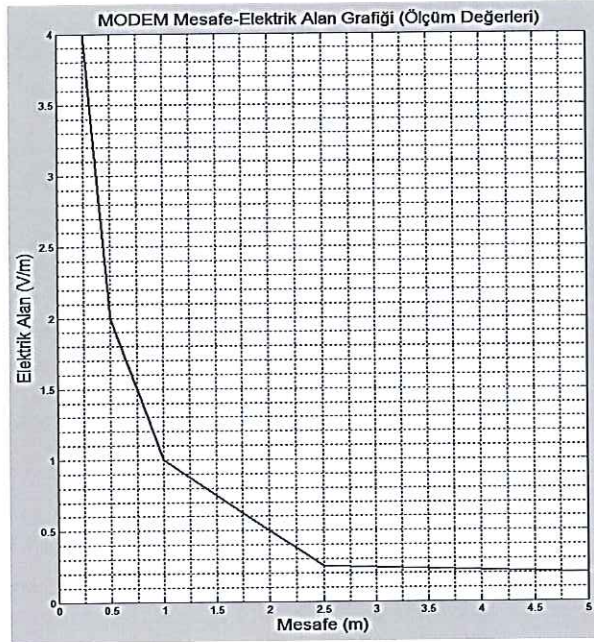
$$E_{\text{konusma}} = -0,836\ln(m) + 0,2142 \quad (5.2)$$

5.1.2. Modem

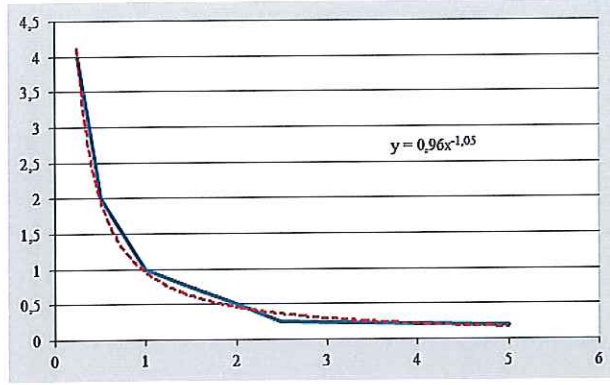
Teknolojinin bize sunduğu tüm imkanlardan faydalanırken 2,4 GHz ile 6 GHz frekansları arasında çevremizde bir elektromanyetik kirlilik oluşur. WLAN modemlerle Wi-Fi ile bağlantı yaparken antenler vasıtasıyla baz istasyonu gibi elektromanyetik dalga ile ışınım gerçekleşir. Ev içi kablosuz internet erişimi 100 mW - 200 mW güçle çalışırken aynı zamanda 1 m mesafede 1 V/m civarında, 5 m’de ise 0.2 V/m kadar EMR yayılmaktadır.

Tablo 5.3 Mesafeye Bağlı Ortalama EA Değerleri (WLAN Modem) [80, 81].

Mesafe (m)	Elektrik Alan (V/m)
0.25	4
0.5	2
1	1
1.5	0.75
2	0.5
2.5	0.25
5	0.2



Şekil 5.12 WLAN Modemin Mesafe-EA Grafiği Ölçüm Değerleri.



Şekil 5.13 WLAN Modem için Eğri Uydurma Denklemi.

WLAN kablosuz erişim sistemlerinin oluşturduğu elektriksel alan değerleri kullanılarak eğri uydurma yöntemiyle elde edilen elektriksel alan denklemi aşağıdaki gibidir.

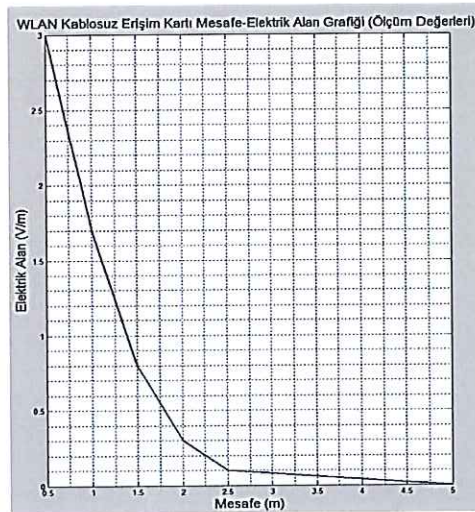
$$E=0.96m^{-1,05} \quad (5.3)$$

5.1.3. Bilgisayarlara Takılan WLAN Kablosuz Erişim Kartı

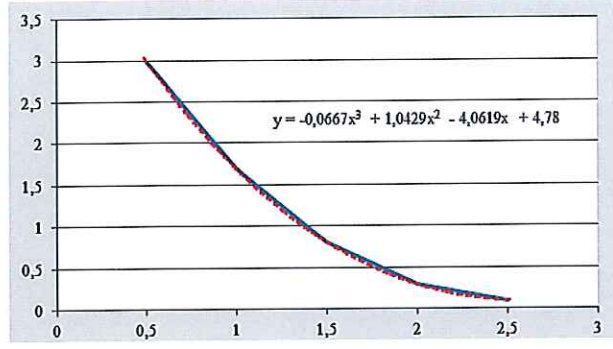
Bilgisayarlara takılan WLAN kablosuz erişim kartları 0,5 metre mesafede 1,1 V/m - 4.9 V/m ve 1 metre mesafede ise 0,7 V/m – 2,8 V/m arasında EMR yayar.

Tablo 5.4 Mesafeye Bağlı Ortalama EA Değerleri (WLAN) [81].

Mesafe (m)	Elektrik Alan (V/m)
0.5	3
1	1.7
1.5	0.8
2	0.3
2.5	0.1



Şekil 5.14 WLAN Kablosuz Erişim Kartı Mesafe-EA Grafiği Ölçüm Değerleri.



Şekil 5.15 WLAN Kablosuz Erişim Kartı için Eğri Uydurma Denklemi.

Bilgisayarlara takılan WLAN kablosuz erişim kartı sistemlerinin oluşturduğu elektriksel alan değerleri kullanılarak eğri uydurma yöntemiyle elde edilen elektriksel alan denklemi aşağıdaki gibidir.

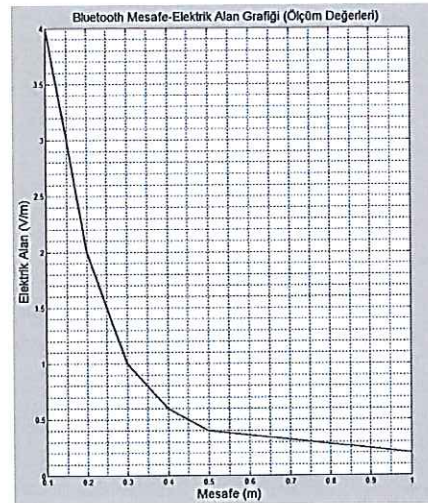
$$E = -0,0667m^3 + 1,0429m^2 - 4,0619m + 4,78 \quad (5.4)$$

5.1.4. Bluetooth Sistemleri

Kablosuz kısa mesafeli erişimin diğer bir çeşidi olan bluetooth, 2,4 GHz frekans civarında 79 farklı frekans kullanır ve saniyede 1600 defa değişir. Bluetooth sistemlerine ait ölçümlerde aşağıdaki elektrik alan değerleri bulunmuştur.

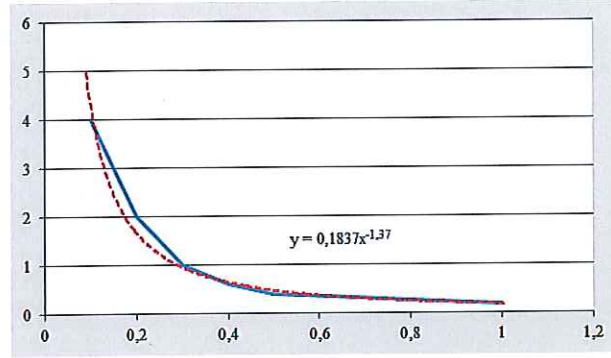
Tablo 5.5 Mesafeye Bağlı Ortalama EA Değerleri (Bluetooth Sistemi) [82].

Mesafe (m)	Elektrik Alan (V/m)
0.1	4
0.2	2
0.3	1
0.4	0.6
0.5	0.4
1.0	0.2



Şekil 5.16 Bluetooth Mesafe-EA Grafiği Ölçüm Değerleri.

Bluetooth sistemlerinin oluşturduğu elektriksel alan değerleri kullanılarak eğri uydurma yöntemiyle elde edilen elektriksel alan denklemi aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.17 Bluetooth için Eğri Uydurma Denklemi.

$$E=0.1837m^{-1,37} \quad (5.5)$$

Tablo 5.6 Modem, WLAN Kartı, Bluetooth ve Cep Telefonunun EA Değerleri.

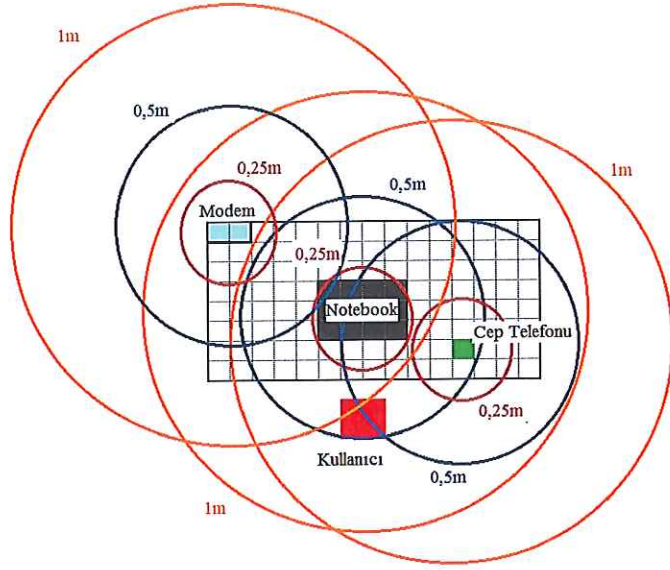
Modem		WLAN Kart		Bluetooth		Cep Telefonu		
Mesafe (m)	EA (V/m)	Mesafe (m)	EA (V/m)	Mesafe (m)	EA (V/m)	Mesafe (m)	Bekleme EA (V/m)	Konuşma EA (V/m)
0,25	4	0,5	3	0,1	4	0	0,4	4,35
0,5	2	1	1,7	0,2	2	0,1	0,15	1,65
1	1	1,5	0,8	0,3	1	0,3	0,1	1,1
1,5	0,75	2	0,3	0,4	0,6	0,5	0,08	0,88
2	0,5	2,5	0,1	0,5	0,4	1	0,02	0,22
2,5	0,25			1	0,2	1,5	0,01	0,11
5	0,2					2	0	0

5.2. Elektriksel Alana Maruz Kalman Ortamlara Ait Senaryolar

Çalışmada 5 (beş) farklı benzetim ortamı için Tablo 5.6' da verilen serbest uzay değerleri kullanılmış ve limit değerlerin anlaşılması açısından da en kötü senaryo durumları ve en uzun maruziyetler göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmış ve sonuçlara ulaşılmıştır.

5.2.1. SENARYO – I (Kişisel Çalışma Masası)

Aşağıda bir kişinin çalışma masasında bulunan cep telefonu, WLAN modem, WLAN ve Bluetooth'dan yayılan elektriksel alan mesafeye bağlı olarak etkilenmesi incelenmiştir.

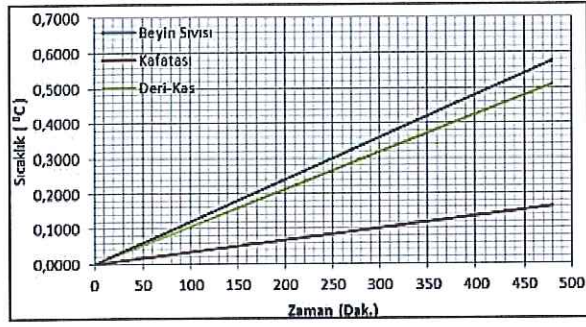


Şekil 5.18 Kişisel Çalışma Masası.

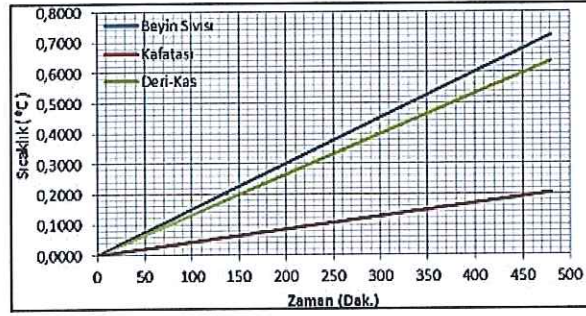
Aşağıda; çalışma masası üzerinde bulunan cihazların kullanıcıya olan mesafelerine bağlı olarak etkiyen elektriksel alan değerleri kullanılarak, kullanıcının maruz kaldığı toplam elektriksel alan değeri hesaplanmış ve bu değerden hareketle toplam SAR değeri bulunarak; 6 ve 30 dakika ile 1, 4 ve 8 saat için beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimi hesaplanmıştır.

Tablo 5.7 Çalışma Masası için Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Değişimi (Konuşma).

	Maruz Kalınan EA (V/m)		Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)						
	Mesafe (m)	Cihazın Yayıdığı EA			Toplam EA	6 dk.	30 dk.	1 saat	4 saat	8 saat	
Cep Telefonu	0	4,35	8,75	4,35	900	0,021	0,002 ⁰ C	0,010 ⁰ C	0,020 ⁰ C	0,081 ⁰ C	0,163 ⁰ C
					1800	0,040	0,004 ⁰ C	0,019 ⁰ C	0,039 ⁰ C	0,155 ⁰ C	0,309 ⁰ C
Modem	1	1	8,75	4,4	2400	0,052	0,005 ⁰ C	0,026 ⁰ C	0,052 ⁰ C	0,207 ⁰ C	0,413 ⁰ C
WLAN	0,5	3									
Bluetooth	0,5	0,4									
					900 ve 2400	0,073	0,007 ⁰ C	0,036 ⁰ C	0,072 ⁰ C	0,288 ⁰ C	0,576 ⁰ C
					1800 ve 2400	0,092	0,009 ⁰ C	0,045 ⁰ C	0,091 ⁰ C	0,362 ⁰ C	0,722 ⁰ C



Şekil 5.19 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Masa).



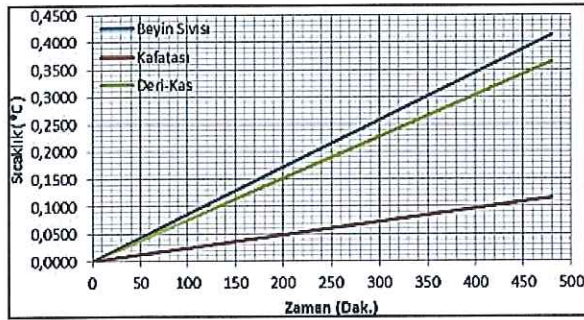
Şekil 5.20 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Masa).

Tablo 5.8 Çalışma Masası için Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Değişimi (Bekleme).

	Maruz Kalınan EA (V/m)		Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)						
	Mesafe (m)	Cihazın Yayıdığı EA			Toplam EA	6 dk.	30 dk.	1 saat	4 saat	8 saat	
Cep Telefonu	0,3	0,1	4,5	0,1	900	0,000012	0,000°C	0,000°C	0,000°C	0,000°C	0,0001°C
					1800	0,000021	0,000°C	0,000°C	0,000°C	0,0001°C	0,0002°C
Modem	1	1	4,4	2400	0,052	0,005°C	0,026°C	0,052°C	0,207°C	0,413°C	
WLAN	0,5	3									
Bluetooth	0,5	0,4									
				900 ve 2400	0,052	0,005°C	0,026°C	0,052°C	0,207°C	0,413°C	
				1800 ve 2400	0,052	0,005°C	0,026°C	0,052°C	0,207°C	0,413°C	



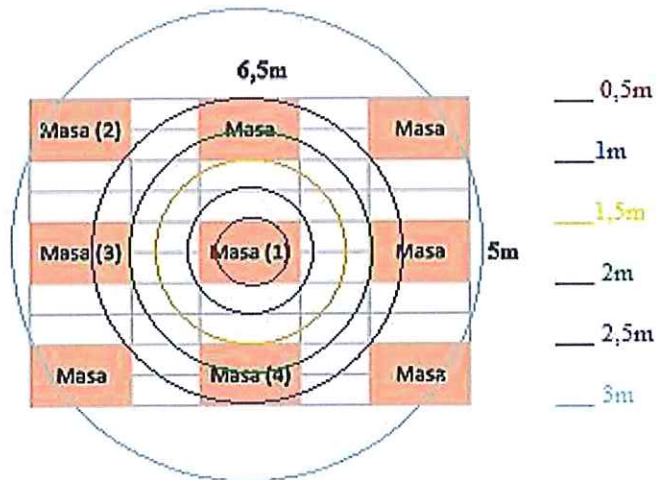
Şekil 5.21 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Masa).



Şekil 5.22 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Masa).

5.2.2. SENARYO – II (Ofis Ortamı)

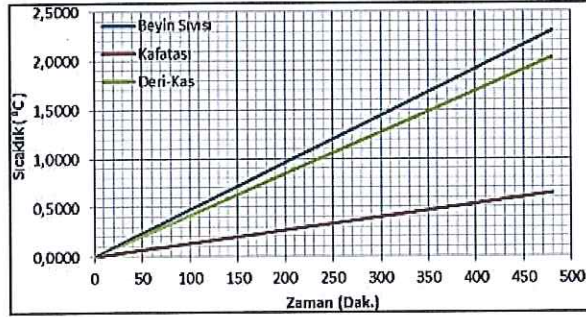
Aşağıda; bir ofiste Masa (1)' de oturan çalışanın, kendisine ve çalışma arkadaşlarına ait cihazlar ile ortak kullanımdaki modemin çalışana olan mesafelerine bağlı olarak etkiyen elektriksel alan değerleri kullanılarak, kullanıcının maruz kaldığı toplam elektriksel alan değeri hesaplanmış ve bu değerden hareketle toplam SAR değeri bulunarak; 6 ve 30 dakika ile 1, 4 ve 8 saat için beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimi hesaplanmıştır.



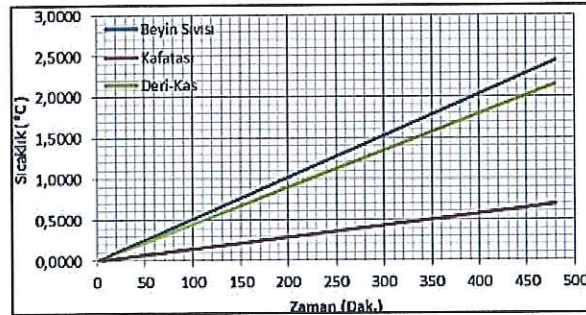
Şekil 5.23 Çalışan Sayısı 9 (Dokuz) Olan Ofis Ortamı.

Tablo 5.9 Ofisteki Çalışanın Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma).

MASA I		Maruz Kalınan EA (V/m)					Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)				
		Cihazın Yayıdığı EA		900-1800 MHz	2400 MHz					6 dk.	30 dk.	1 saat	4 saat	8 saat
		Mesafe (m)	Kişi		Cep Telefonu	Modem								
0,5	1	4,35	2	3	0,4	11,35	900	0,021	0,002°C	0,010°C	0,020°C	0,081°C	0,163°C	
2	4	0	0	4x0,3	0		1800	0,040	0,004°C	0,019°C	0,039°C	0,155°C	0,309°C	
3,5	4	0	0	4x0,1	0		2400	0,133	0,013°C	0,066°C	0,131°C	0,523°C	1,046°C	
		4,35			7		900 ve 2400	0,154	0,015°C	0,076°C	0,151°C	0,604°C	1,209°C	
							1800 ve 2400	0,173	0,017°C	0,085°C	0,170°C	0,678°C	1,355°C	



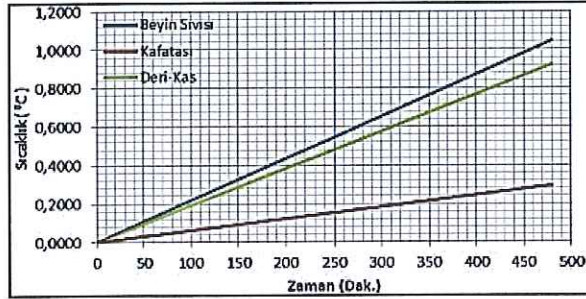
Şekil 5.24 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Ofis).



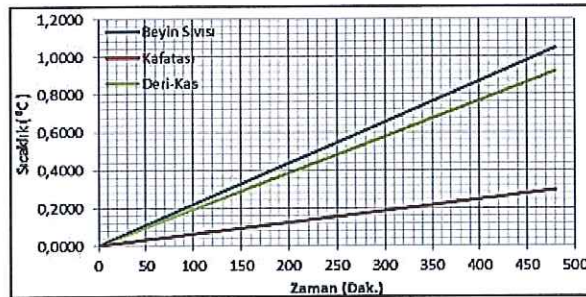
Şekil 5.25 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Ofis).

Tablo 5.10 Ofisteki Çalışanın Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme).

MASA I		Maruz Kalınan EA (V/m)					Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)				
		Cihazın Yayıdığı EA								6 dk.	30 dk.	1 saat	4 saat	8 saat
		Mesafe (m)	Kişi	900-1800 MHz Cep Telefonu	2400 MHz Modem	2400 MHz WLAN								
0	1	0,41	2	3	0,4	7,41	900	0,000012	0,000°C	0,0001°C	0,0002°C	0,0007°C	0,0014°C	
2	4	0	0	4x0,3	0		0,41	1800	0,000021	0,000°C	0,0002°C	0,0003°C	0,0014°C	0,0027°C
3,5	4	0	0	4x0,1	0		7	2400	0,133	0,013°C	0,066°C	0,131°C	0,523°C	1,046°C
		0,41	7					900 ve 2400	0,133	0,013°C	0,065°C	0,131°C	0,524°C	1,047°C
								1800 ve 2400	0,133	0,013°C	0,066°C	0,131°C	0,524°C	1,049°C



Şekil 5.26 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Ofis).

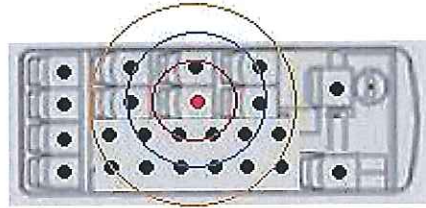


Şekil 5.27 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Ofis).

5.2.3. SENARYO – III (Toplu Taşıma Araçları)

5.2.3.1. Yolcu

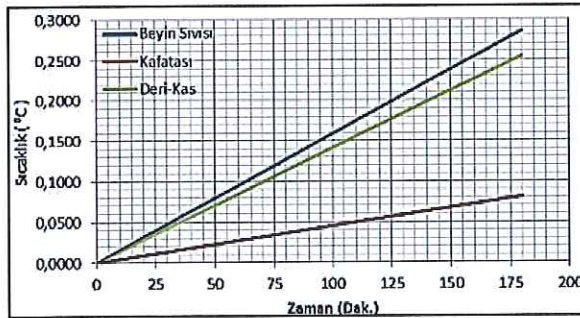
Aşağıda; günlük yaşamda sıkça kullandığımız bir toplu taşıma aracındaki yolculardan birine, kendisinin ve diğer yolculara ait cep telefonlarının yolcuya olan mesafelerine bağlı olarak etkiyen elektriksel alan değerleri kullanılarak, yolcunun maruz kaldığı toplam elektriksel alan değeri hesaplanmış ve bu değerden hareketle toplam SAR değeri bulunarak; 6 ve 30 dakika ile 1, 2 ve 3 saat için beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimi hesaplanmıştır.



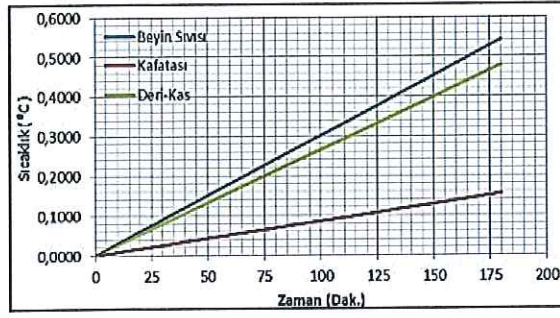
Şekil 5.28 Toplu Taşıma Aracı (Yolcu).

Tablo 5.11 Araçtaki Yolcunun Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma).

YOLCU		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)				
		900-1800 MHz	Cep Telefonu				6 dk.	30 dk.	1 saat	2 saat	3 saat
Mesafe (m)	Kişi										
0	1	4,35	4,35	9,41	900	0,097	0,010°C	0,048°C	0,100°C	0,200°C	0,290°C
0,5	3	0,88	2,64								
1	8	0,22	1,76		1800	0,183	0,018°C	0,091°C	0,181°C	0,361°C	0,543°C
1,5	6	0,11	0,66								



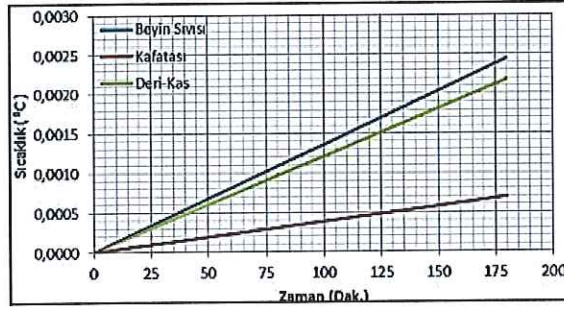
Şekil 5.29 900 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Yolcu).



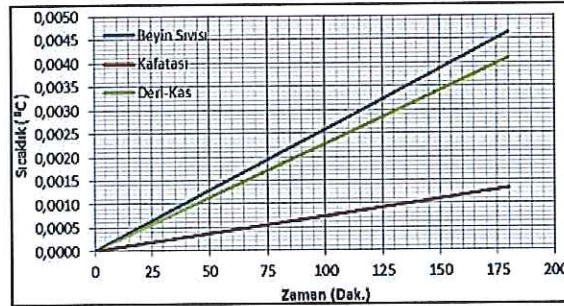
Şekil 5.30 1800 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Yolcu).

Tablo 5.12 Araçtaki Yolcunun Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme).

YOLCU		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)				
		Mesafe (m)	Kişi				900-1800 MHz	Cep Telefonu	6 dk.	30 dk	1 saat
0	1	0,41	0,41	0,87	900	0,0008	0,0001°C	0,0004°C	0,0008°C	0,0016°C	0,0024°C
0,5	3	0,08	0,24				0,0002°C	0,0008°C	0,0015°C	0,0031°C	0,0046°C
1	8	0,02	0,16		1800	0,0016	0,0002°C	0,0008°C	0,0015°C	0,0031°C	0,0046°C
1,5	6	0,01	0,06				0,0002°C	0,0008°C	0,0015°C	0,0031°C	0,0046°C



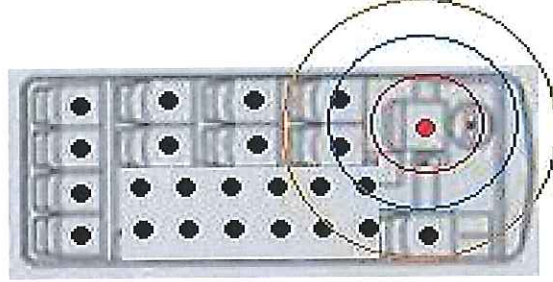
Şekil 5.31 900 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Yolcu).



Şekil 5.32 1800 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Yolcu).

5.2.3.2. Sürücü

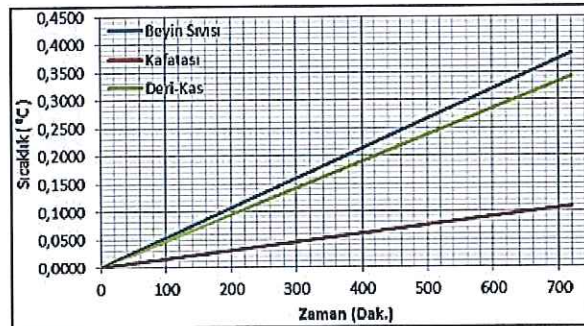
Toplu taşıma aracındaki yolcu için uyarladığımız senaryoyu, gün boyu yolculardan daha fazla elektriksel alana maruz kalan sürücüye 6 dakika ile 3, 5, 8 ve 12 saat için uyarladığımızda ise;



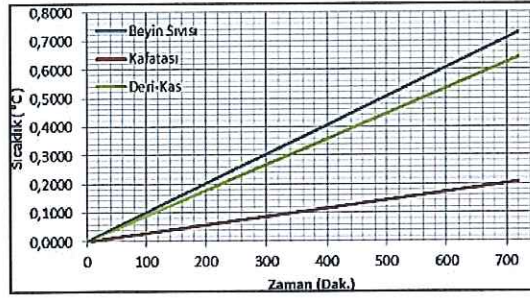
Şekil 5.33 Toplu Taşıma Aracı (Sürücü).

Tablo 5.13 Araçtaki Sürücünün Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma).

sÜRÜCÜ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)					
		900-1800 MHz	Cep Telefonu				6 dk.	3 saat	5 saat	8 saat	12 saat	
Mesafe (m)	Kişi											
0	1	4,35	4,35	5,45	900	0,032	0,003°C	0,096°C	0,160°C	0,256°C	0,383°C	
0,5	0	0	0									
1	3	0,22	0,66	5,45	1800	0,062	0,006°C	0,182°C	0,303°C	0,486°C	0,728°C	
1,5	4	0,11	0,44									



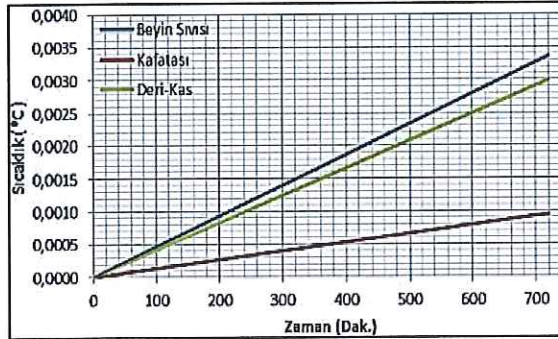
Şekil 5.34 900 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Sürücü).



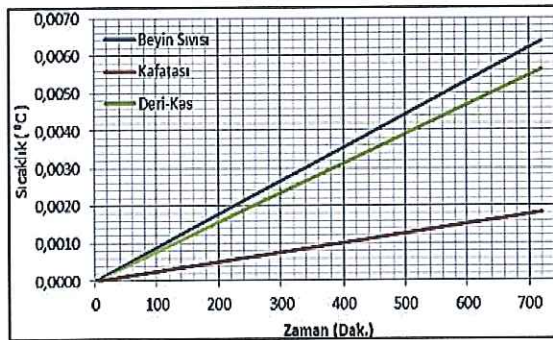
Şekil 5.35 1800 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Sürücü).

Tablo 5.14 Araçtaki Sürücünün Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme).

SÜRÜCÜ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)				
		Mesafe (m)	Kişi				900-1800 MHz Cep Telefonu	6 dk.	3 saat	5 saat	8 saat
0	1	0,41	0,41	0,51	900	0,0003	0,000 ⁰ C	0,0008 ⁰ C	0,0014 ⁰ C	0,0022 ⁰ C	0,0034 ⁰ C
0,5	0	0	0		1800	0,0005	0,0001 ⁰ C	0,0016 ⁰ C	0,0027 ⁰ C	0,0043 ⁰ C	0,0064 ⁰ C
1	3	0,02	0,06								
1,5	4	0,01	0,04								



Şekil 5.36 900 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Sürücü).

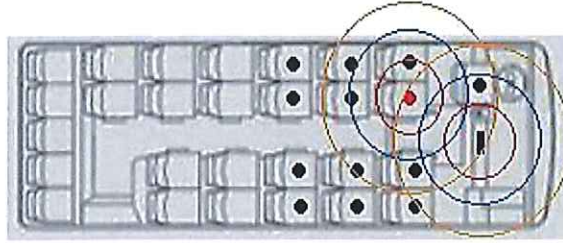


Şekil 5.37 1800 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (TTA-Sürücü).

5.2.4. SENARYO – IV (Servisler)

5.2.4.1. Yolcu

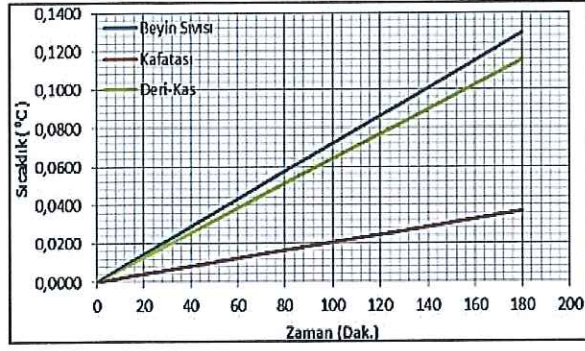
Günümüz metropol yaşamda birçok insan işe gidiş ve gelişlerinde servis araçları kullanmaktadır. Gün içinde servis araçlarında geçen zaman 3 saate kadar çıkmaktadır. Servis araçlarında modeminde olduğu düşünülerek yolculardan birine, kendisinin ve diğer yolculara ait cep telefonlarının yolcuya olan mesafelerine bağlı olarak etkiyen elektriksel alan değerleri kullanılarak, yolcunun maruz kaldığı toplam elektriksel alan değeri hesaplanmış ve bu değerden hareketle toplam SAR değeri bulunarak; 6 ve 30 dakika ile 1, 2 ve 3 saat için beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimi hesaplanmıştır.



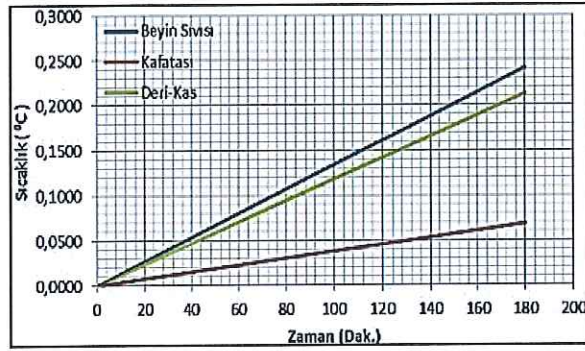
Şekil 5.38 Servis Aracı (Yolcu).

Tablo 5.15 Servisteki Yolcunun Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma).

YOLCU		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)					
		Cihazın Yayıdığı EA					6 dk.	30 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	
		900-1800 MHz	2400 MHz									
Mesafe (m)	Kişi	Cep Telefonu	Modem									
0	1	4,35	0,75	6,97	6,22	900	0,042	0,004°C	0,021°C	0,042°C	0,083°C	0,125°C
0,5	1	0,88			1800	0,080	0,008°C	0,040°C	0,079°C	0,158°C	0,237°C	
1	3	0,22			0,75	2400	0,002	0,0002°C	0,0008°C	0,0015°C	0,0030°C	0,0045°C
1,5	3	0,11			6,22	0,75	900 ve 2400	0,044	0,0043°C	0,0216°C	0,0431°C	0,0862°C
		6,22	0,75			1800 ve 2400	0,082	0,0081°C	0,0403°C	0,0805°C	0,1611°C	0,2416°C



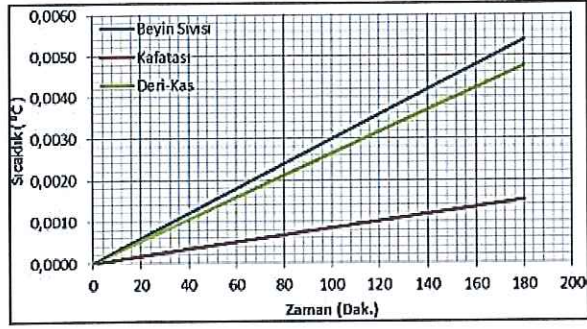
Şekil 5.39 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Yolcu).



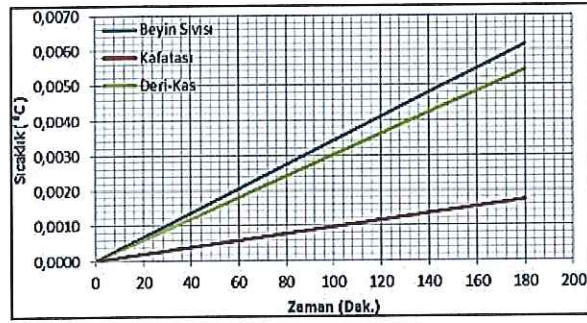
Şekil 5.40 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Yolcu).

Tablo 5.16 Servisteki Yolcunun Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme)

YOLCU		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)					
		Cihazın Yayıdığı EA					6 dk.	30 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	
		900-1800 MHz	2400 MHz									
Mesafe (m)	Kişi	Cep Telefonu	Modem									
0	1	0,41	0,75	1,27	900	0,0003	0,0000°C	0,0001°C	0,0003°C	0,0006°C	0,0009°C	
0,5	1	0,08			1800	0,0006	0,0001°C	0,0003°C	0,0006°C	0,0011°C	0,0017°C	
1	3	0,02			2400	0,002	0,0002°C	0,0008°C	0,0015°C	0,0030°C	0,0045°C	
1,5	3	0,01										
		0,52	0,75		900 ve 2400	0,0023	0,0002°C	0,0009°C	0,0018°C	0,0036°C	0,0054°C	
					1800 ve 2400	0,0026	0,0002°C	0,0010°C	0,0021°C	0,0041°C	0,0062°C	



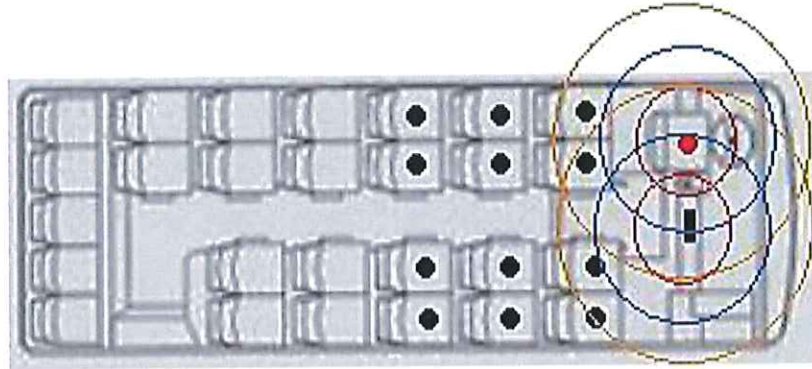
Şekil 5.41 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Yolcu).



Şekil 5.42 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Yolcu).

5.2.4.2. Sürücü

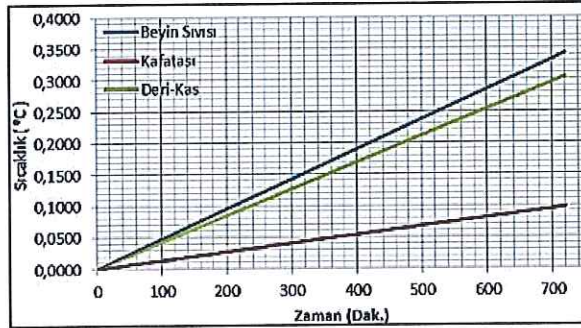
Servisteki yolcu için uyarladığımız senaryoyu, gün boyu yolculardan daha fazla elektiriksel alana maruz kalan sürücüye 6 dakika ile 3, 5, 8 ve 12 saat için uyarladığımızda ise;



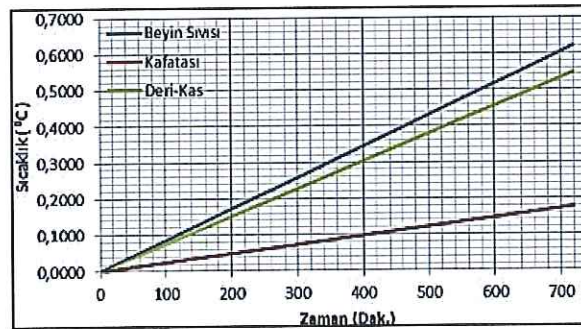
Şekil 5.43 Servis Aracı (Sürücü).

Tablo 5.17 Servisteki Sürücünün Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Konuşma).

SÜRÜCÜ		Maruz Kalman EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalman Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)					
		Cihazın Yayıdığı EA					6 dk.	3 saat	5 saat	8 saat	12 saat	
		900-1800 MHz	2400 MHz									
Mesafe (m)	Kişi	Cep Telefonu	Modem									
0	1	4,35	1	5,9	4,9	900	0,026	0,0026°C	0,078°C	0,129°C	0,207°C	0,310°C
1	2	0,22				1800	0,050	0,005°C	0,147°C	0,245°C	0,392°C	0,589°C
1,5	1	0,11			1	2400	0,003	0,0003°C	0,0080°C	0,013°C	0,021°C	0,032°C
		4,9	1			900 ve 2400	0,029	0,003°C	0,086°C	0,143°C	0,228°C	0,342°C
						1800 ve 2400	0,053	0,005°C	0,155°C	0,259°C	0,414°C	0,620°C



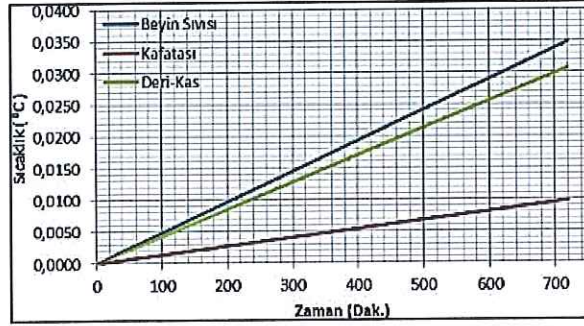
Şekil 5.44 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Sürücü).



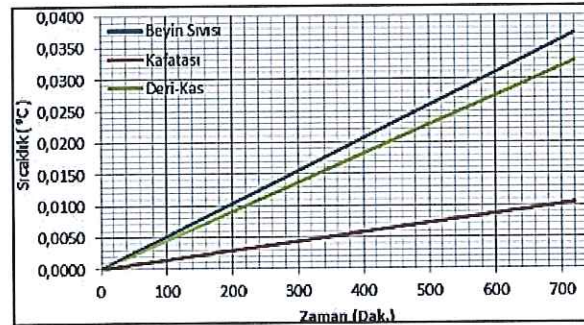
Şekil 5.45 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Sürücü).

Tablo 5.18 Servisteki Sürücünün Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Bekleme).

SÜRÜCÜ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)					
		Cihazın Yayıdığı EA					6 dk.	3 saat	5 saat	8 saat	12 saat	
		900-1800 MHz	2400 MHz									
Mesafe (m)	Kişi	Cep Telefonu	Modem									
0	1	0,41	1	1,46	0,46	900	0,0002	0,0000°C	0,0007°C	0,0011°C	0,0018°C	0,0027°C
1	2	0,02				1800	0,0004	0,0000°C	0,0013°C	0,0022°C	0,0035°C	0,0052°C
1,5	1	0,01			1	2400	0,003	0,0003°C	0,0080°C	0,013°C	0,021°C	0,032°C
		0,46	1			900 ve 2400	0,0032	0,0003°C	0,0087°C	0,0145°C	0,0232°C	0,0347°C
						1800 ve 2400	0,0034	0,0003°C	0,0093°C	0,0155°C	0,0248°C	0,0372°C



Şekil 5.46 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Sürücü).

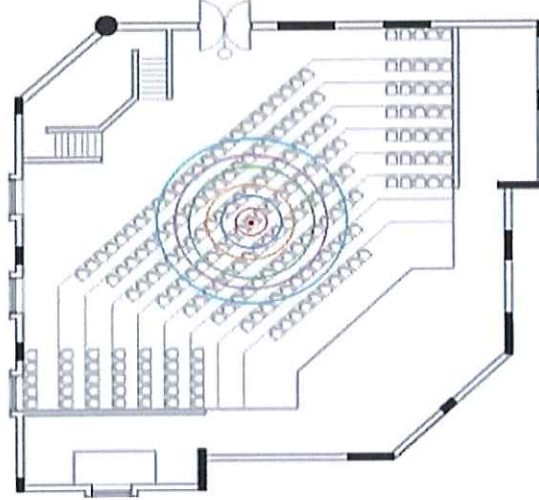


Şekil 5.47 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Servis-Sürücü).

5.2.5. SENARYO – V (Salonlar)

Toplantı, sinema, kongre, konser, spor karşılaşmaları v.b. etkinliklerde katılımcılar uzunca bir süre çok sayıda cep telefonunun yaydığı elektriksel alanın etkisi altında kalmaktadır. Ayrıca bu tür yerlerde etkinliğe katılanların yararlanılması amacıyla kalosuz internet erişimi için ortamda bir veya daha fazla modemde bulunmaktadır. Aşağıda böyle bir ortam için mesafelere bağlı olarak etkiyen elektriksel alan değerleri kullanılarak, katılımcının maruz kaldığı toplam elektriksel alan değeri hesaplanmış ve bu değerden hareketle toplam SAR değeri bulunarak; 6 dakika ile 1, 2, 3 ve 4 saat için beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimi hesaplanmıştır.

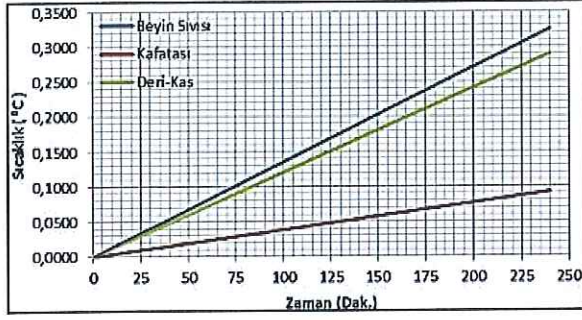
5.2.5.1. Modemsiz Salon



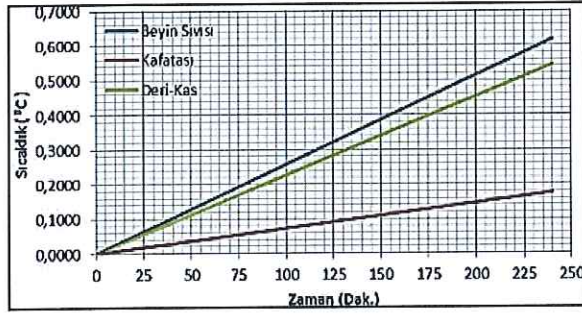
Şekil 5.48 Sinema/Tiyatro/Toplantı Salonu (Modemsiz).

Tablo 5.19 Katılımcıda Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Modemsiz-Konuşma)

İZLEYİCİ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)				
		900-1800 MHz	Cep Telefonu				6 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat
Mesafe (m)	Kişi										
0	1	4,35	4,35	8,69	900	0,082	0,008°C	0,081°C	0,163°C	0,244°C	0,325°C
0,5	2	0,88	1,76								
1	8	0,22	1,76		1800	0,156	0,015°C	0,154°C	0,309°C	0,463°C	0,617°C
1,5	8	0,11	0,88								



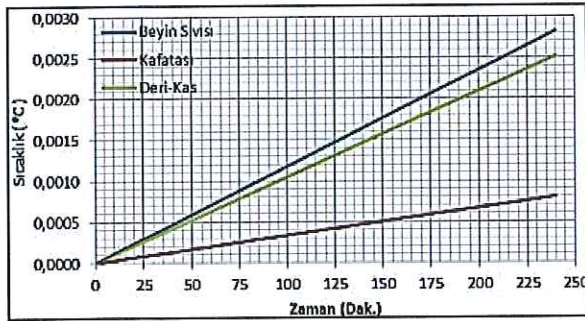
Şekil 5.49 900 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modemsiz).



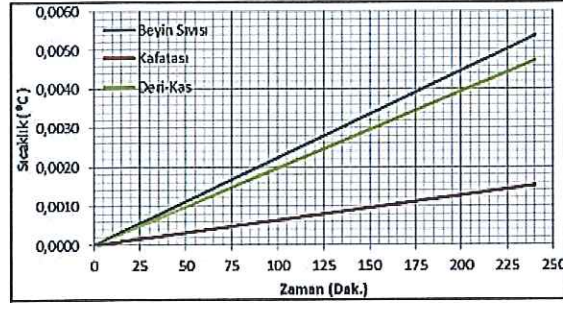
Şekil 5.50 1800 MHz için Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modemsiz).

Tablo 5.20 Katılımcıda Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Modemsiz-Bekleme).

İZLEYİCİ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)				
		Mesafe (m)	Kişi				900-1800 MHz Cep Telefonu	6 dk.	1 saat	2 saat	3 saat
0	1	0,41	0,41	0,81	900	0,0007	0,0001°C	0,0007°C	0,0014°C	0,0021°C	0,0028°C
0,5	2	0,08	0,16				0,0001°C	0,0007°C	0,0014°C	0,0021°C	0,0028°C
1	8	0,02	0,16		1800	0,0014	0,0001°C	0,0013°C	0,0027°C	0,0040°C	0,0054°C
1,5	8	0,01	0,08				0,0001°C	0,0013°C	0,0027°C	0,0040°C	0,0054°C

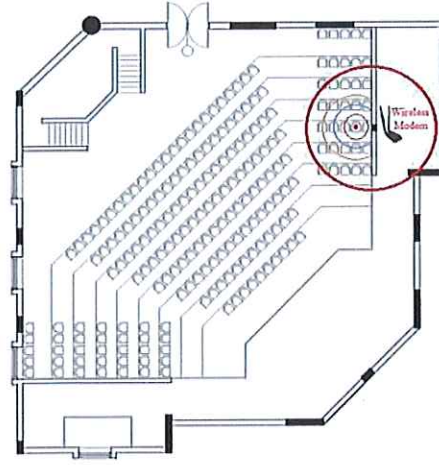


Şekil 5.51 900 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modemsiz).



Şekil 5.52 1800 MHz için Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modemsiz).

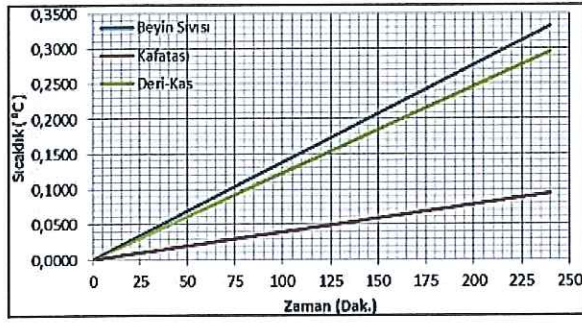
5.2.5.2. Modemli Salon



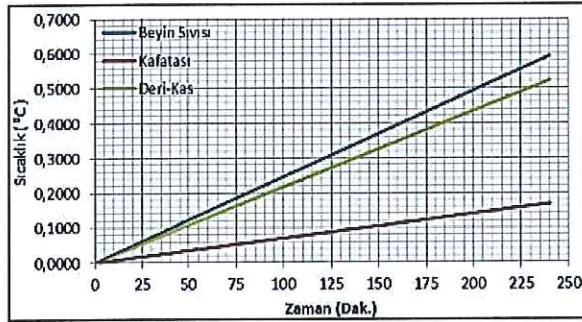
Şekil 5.53 Sinema/Tiyatro/Toplantı Salonu (Modemli).

Tablo 5.21 Katılımcıda Beyin Sıvısı için Sıcaklık Değişimi (Modemli-Konuşma).

İZLEYİCİ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)					
		Cihazın Yayıdığı EA					6 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	
		900-1800 MHz	2400 MHz									
Mesafe (m)	Kişi	Cep Telefonu	Modem									
0	1	4,35	2	10,2	8,2	900	0,073	0,0072°C	0,072°C	0,145°C	0,217°C	0,289°C
0,5	2	0,88				1800	0,139	0,0137°C	0,137°C	0,275°C	0,412°C	0,550°C
1	7	0,22			2400	0,011	0,0011°C	0,011°C	0,021°C	0,032°C	0,043°C	
1,5	5	0,11										
		8,2	2									
						900 ve 2400	0,084	0,0083°C	0,083°C	0,166°C	0,249°C	0,332°C
						1800 ve 2400	0,150	0,0148°C	0,148°C	0,296°C	0,444°C	0,592°C



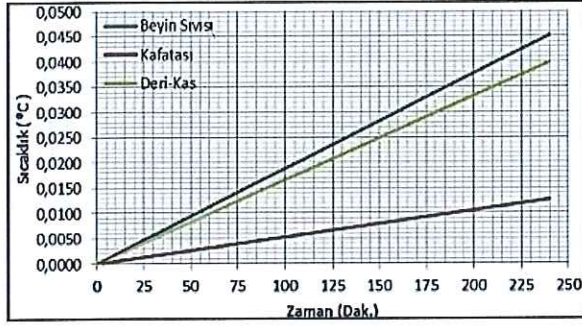
Şekil 5.54 (900+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modem).



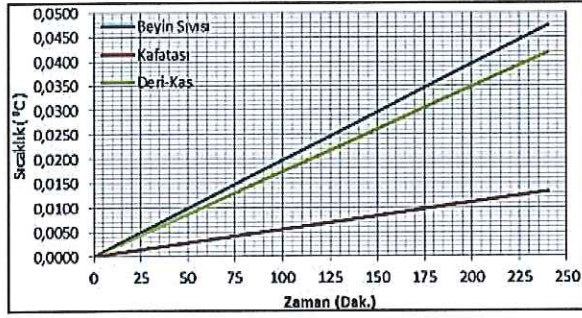
Şekil 5.55 (1800+2400MHz) Konuşma Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modem).

Tablo 5.22 Katılımcıda Beyin Sıvısı İçin Sıcaklık Değişimi (Modemli-Bekleme).

İZLEYİCİ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA	Frekans (MHz)	SAR (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)				
		Cihazın Yayıdığı EA					6 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat
		900-1800 MHz	2400 MHz								
Mesafe (m)	Kişi	Cep Telefonu	Modem								
0	1	0,41	2	2,76	900	0,0006	0,0001°C	0,0006°C	0,0012°C	0,0018°C	0,0024
0,5	2	0,08					1800	0,0012	0,0001°C	0,0012°C	0,0024°C
1	7	0,02			2400	0,011			0,001°C	0,011°C	0,021°C
1,5	5	0,01					900 ve 2400	0,0116	0,0011°C	0,0113°C	0,0226°C
		0,76	2		1800 ve 2400	0,0122	0,0012°C	0,0119°C	0,0237°C	0,0356°C	0,0474°C



Şekil 5.56 (900+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modem).



Şekil 5.57 (1800+2400MHz) Bekleme Anında Sıcaklık Değişimi (Salon-Modem).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günlük hayatta insanlar kendi kullandıkları cihazların yanı sıra çevredeki insanların kullandıkları cihazların ve ortak kullanım amacıyla yerleştirilmiş çeşitli cihazlarında etkisi altında kalırlar. Her ne kadar bu cihazların elektriksel alan ve SAR değerleri üretici firmalar tarafından belirtilse de bu değerler cihazların kullanım anındaki ortalama değerlerini yansıtmamaktadır. Özellikle anlık artışlar firmalarca verilen değerlerin çok üzerindedir. Örneğin cep telefonları için bekleme anındaki elektriksel alan değeri 0,41 V/m civarında iken, konuşma anındaki ortalama değeri yaklaşık olarak 4-5 V/m dur. Anlık değer ise bu değerlerin 5-6 katına çıkmaktadır [79].

Telekomünikasyon Kurumu ve ICNIRP, kamusal alanlarda kişiye etkiyecek en yüksek EA limit değerini **10,23 V/m** olarak belirlemiştir [21, 36, 83, 85, 86, 87, 88]. Her ne kadar ICNIRP'nin tek cihaz için belirlediği bu değer benzetimlerde kullanılan cihazların tek başına yaydığı elektriksel alan değerlerinin üstünde olsa da, önemli olan kullanıcının bulunduğu ortamda toplamda ve anlık olarak maruz kaldığı elektriksel alan değeridir. Öte yandan uluslararası kuruluşlarca halka açık alanlardaki kontrolsüz etkilenmede maruz kalınacak en yüksek SAR limit değeri ise **0,08 W/kg** olarak belirlenmiştir [36, 39, 83, 85, 86]. Aynı zamanda insan vücudunun 1°C'lik sıcaklık artışını düzenleyemediği ve 1°C'lik sıcaklık artışının insan vücutta sorunlar oluşturduğu tıp otoritelerince kabul edilmektedir [36, 83, 84, 86].

Bu çalışmada insanların günlük yaşantılarında evlerindeki ve ofislerindeki çalışma masalarında, toplu taşıma ve servis araçlarında, sinema/teyatro/toplantı salonları gibi ortamlarda birçok cihazın etkisi altında kaldığı düşünülerek söz konusu ortamların benzetimi yapılmıştır.

Yukarıdaki benzetimlerde elde edilen elektriksel alan değerlerinden hareketle SAR değerleri hesaplanmış ve buradan da maruziyet sonucu beyin sıvısı, kafatası, deri-kas sistemindeki sıcaklık artışı belirlenmiştir. Bu sıcaklık artışı özellikle bebekler, yetişme çağındaki çocuklar ve hamile kadınlar için oldukça zararlıdır.

Tablo 6.1’de görüleceği gibi, yapılan benzetimlerdeki hesaplamalarda bulunan EA, SAR ve sıcaklık artışlarının; bazı durumlarda, ulusal ve uluslararası kuruluşlarca belirlenen limit değerlere yaklaştığı ve bazı durumlarda ise aştığı görülmektedir. Özellikle “Ofis Ortamı” benzetimine bakıldığında bu üç kriterin de limit değerleri aşması söz konusudur. Bu durum “Modüler Ofis” ortamlarında ve özellikle “Call Center” larda çalışanların sağlığını ciddi boyutta tehdit edecektir.

Tablo 6.1 Benzetim Ortamlarındaki Maksimum Elektriksel Alan Değerlerine Karşılık Hesaplanan SAR ve En Yüksek Süredeki Maruziyetlerde Meydana Gelen Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı.

Benzetim Ortamı	Maruz Kalınan En Yüksek Elektriksel Alan (V/m)	SAR (W/kg)		Maruz Kalınan En Uzun Süre (Δt) & Beyin Sıvısındaki En Yüksek Sıcaklık Artışı (ΔT)	
		900+2400MHz	1800+2400MHz	900+2400MHz	1800+2400MHz
Çalışma Masası	8,75	900+2400MHz	1800+2400MHz	8 SAAT	
		0,073	0,092*	0,576	0,772
Ofis	11,35*	900+2400MHz	1800+2400MHz	8 SAAT	
		0,154*	0,173*	1,209*	1,355*
Toplu Taşıma (yolcu)	9,41	900MHz	1800MHz	3 SAAT	
		0,097*	0,183*	0,290	0,543
Toplu Taşıma (sürücü)	5,45	900MHz	1800MHz	12 SAAT	
		0,032	0,062	0,383	0,728
Servis (yolcu)	6,97	900+2400MHz	1800+2400MHz	3 SAAT	
		0,044	0,082*	0,1293	0,2416
Servis (sürücü)	5,90	900+2400MHz	1800+2400MHz	12 SAAT	
		0,029	0,053	0,342	0,620
Sinema/Tiyatro/Toplantı Salonu	10,20*	900+2400MHz	1800+2400MHz	4 SAAT	
		0,084	0,150	0,332	0,592

*:Limitleri Aşan Değerler

Haberleşme sistemlerinin, teknoloji ile iç içe günümüz hayatının vazgeçilmez bir parçası olduğu aşikârdır. Önemli olan bu cihazların yaydığı elektrik alanından mümkün mertebe az etkilenecek şekilde tedbirler almaktır. Bu hususta cep telefonları ve diğer kablosuz haberleşme cihazları ile aramıza belli bir mesafe koymak, uzun süreli cep telefonu konuşmalarını kablolu kulaklıklarla yapmak, görüşme başlayana kadar cep telefonunu kulağımızla temas ettirmemek, hareket halinde iken cep telefonu ile görüşme yapmamak, toplu yaşam alanlarında cep telefonu ile olan görüşmelerimizi kısa tutmak ve internet kullanımını cep telefonları ile gerçekleştirmemek önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Özaktaş, H.M. (1999). “*Günlük Hayatta Karşılaşılan Elektromanyetik Alanlar ve İnsan Sağlığı*”. Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu. Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi ve Türkiye Bilişim Derneği. Ankara.
- [2] Sabuncu, H. (2001). “*Elektromanyetik Radyasyon ve İnsan Sağlığına Etkileri*”. İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı’na Bağlı İş Sağlığı Bilim Dalı, Yayın No: 2001/1.
- [3] (2001). Health Effect Associated with Mobile Base Stations in Communities: The Need for Health Studies.
- [4] (2001) .Cellular Phones, Mobile and Base Station Antenna Radiation and Human Health.
- [5] (2000). Electromagnetic Fields and Public Health, Mobile Telephones and Their Base Stations. World Health Organization, FactSheet No: 193.
- [6] (1998). Electromagnetic Fields and Public Health, Healt Effect of Radio Frequency Fields Based on Environmental Health Criteria. World Health Organization, Fact Sheet No: 183.
- [7] (2000). Electromagnetic Fields and Public Health. The International EMF Project. World Health Organization, Fact Sheet No:181.

- [8] Seyhan, N. (2000). "*Elektromanyetik Kirlilik ve Etkileri, Korunma Yöntemleri*". Uluslararası Elektromanyetik Alan Projesi. Ulusal ve Uluslararası Politikalar. Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, 1(4): 9-16.
- [9] Özkan, T. (1987). "*Mikrodalga*". Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara.
- [10] Jordan, E.C., Balmain K.G. (1968). "*Electromagnetic Waves and Radiating Systems*". Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- [11] Ataman, A. (1975). "*Propagasyon*". İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- [12] Staelin, D.H., Morgenthaler, A.W., Kong, J.A. (1994). "*Electromagnetic Waves*". Prentice Hall.
- [13] Yee, K.S. (1966). "*Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations*". IEEE Transactions on Antennas and Propagat, v-14, no: 3, p. 302-307.
- [14] Saunders, S.R. (1999). "*Antennas and Propagation For Wireless Communication Systems*". JohnWiley & Sons Ltd., United Kingdom.
- [15] Collin, R.E. (1966). "*Foundations for Microwave Engineering*". Mc Graw Hill.
- [16] Sevgi, L. (2000). "*Elektromanyetik Kirlilik ve EMC Mühendisliği I*", TÜBİTAK-MAM Teknolojik İşbirliği Dergisi.
- [17] Sevgi, L. (2000). "*Elektromanyetik Kirlilik ve EMC Mühendisliği II*", TÜBİTAK-MAM Teknolojik İşbirliği Dergisi.
- [18] Sevgi, L. (1999). "*Elektromanyetik Problemler ve Sayısal Yöntemler*". Birsen Yayınevi. İstanbul.

- [19] Şekerci, S. (1991). “*Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri*”. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 381s.
- [20] Lai, H. (1998). “*Neurological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Radiation*”. Paper Presented to the Workshop on Possible Biological and Health Effects of RF Electromagnetic Fields. Project Team: Mobil Phone and Health, Symposium, University of Vienna, Austria, October 25–28.
- [21] (2011). Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü Ve Denetimi Hakkında Yönetmelik. Telekomünikasyon Kurumu. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- [22] (2001). Mobile Phones and Health. *IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones)*
- [23] Akleman, F., Sevgi, L. (1998). “*FDTD Analysis of Human Head – Mobile Phone Interaction in Terms of Specific Absorption Rate (SAR) Calculations and Antenna Design*”. Proc. of IEEE-APS, Conference on Antennas & Propagation for Wireless Comm. Waltham, MA, USA, p.85–88.
- [24] Paker, S., Sevgi, L. (2002). “*FDTD Evaluation of the SAR Distribution in a Human Head Near a Mobile Cellular Phone*”. Turkish J. of Electronics and Comm., V.6 No.1, Phones on the Central Nervous System, Bioelectromagnetics, v.24, p.49–62.
- [25] (2006). Comparisons of Computed Mobile Phone Induced SAR in the SAM Phantom to That in Anatomically Correct Models of the Human Head, *IEEE Transactions on Electromagnetik Compatibility, Vol. 48, No. 2*
- [26] (2000). Sayı:B.19.0.ÇKÖ.0.02.00.03, Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Genel Müdürlüğü Genelgesi.
- [27] (1994). Radyasyon ve Sağlık. Teknik Rapor No:1 HASAK. Sağlık ve Sosyal Yardım Vakfı.

- [28] Knaw, B. (1998). "*Radiation, Non-Ionizing. Encyclopedia of Occupational Health and Safety*". vol:2, fourth edition, ILO, Geneva.
- [29] Ahlbom, A., Gren, A., Kheifets, L., Savitz, D., Swerdlow, A. (2004). "*Epidemiology of Health Effects of Radiofrequency Exposure*". *Environ Health Perspect*, 112(17), 1741-1754.
- [30] (1993), *Electromagnetic fields and public health*, Geneva, WHO and (1996) the Report of the Scientific Review Under the Auspices of the International EMF Project, World Health Organization, Germany.
- [31] Şekerci, S., Korkut, A. (2005). "*Tehlikeli Oyuncak*". Kaya Matbaacılık, İstanbul, 158s.
- [32] Şekerci, S. (1991). "*Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri*". Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 381s.
- [33] Svetlana, M.R., Pavel, E.K., Uliya, A.M., Era, B.P., Svetlana, A.D. and Alexander, U.S. (2006). "*Combined Effect of Electromagnetic Radiation of Extremely High Frequencies and Chemical Compounds on Biological Objects*". *Toxicology Letters*, v.164, p.123
- [34] Şeker, S., Çerezci, O. (1997). "*Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri*". Boğaziçi Üniversitesi, 350s.
- [35] Santini, R., Ruz, P.L., Danze, J.M., Seigne, M. (2003). "*Survey Study of Living in the Vicinity of Cellular Phone Base Station*". *Electromagnetic Biology and Medicine*, v.22(1), p.41-49.
- [36] (1998). International Non-Ionizing Radiation Committee of the IRPA Guidelines on Limits of Exposure to Radiation Frequency EM Fields in the Frequency Range from 100 kHz to 300 GHz Health Physics, 74i4494-522, ICNIRP.

- [37] (1992). American National Standard–Safety Levels with Respect to Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, c95.1, ANSI/IEEE.
- [38] (1999). Questions and Answers About Biological Effects and Potential Hazards of Radio Frequency Electromagnetic Fields, Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology, Washington, USA, FCC.
- [39] Sevgi, L. (2000). “*Elektromanyetik Uyumluluk*”, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Yapım Matbaa, İstanbul, 273s.
- [40] (2001). “*Mobile Phones and Health*”, IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones).
- [41] (2005-2008). Commission on Electromagnetic Noise and Interference Triennium Report. Erişim tarihi: 15 Haziran 2015, http://www.ursi.org/files/CommissionReports/E_05-08.pdf
- [42] David, P., Adams, D., Dawe, S., Brette S., Jhon, W. (2005). “*Non-Thermal Biological Effect of Microwave Fields on Caenorhabdits Elegans*”. Nature 405:417-418.
- [43] Valsechi, O.A., Horri, J., Angelis, D. (2004). “*The Effect of Microwaves on Microorganism*”. Arq. Institute Biology, v.71-3, p.399-494.
- [44] Sadeghi, A.A., Shawrang, P. (2005). “*Effects of Microwave Irradiation on Ruminal Degradability and in Vitro Digestibility of Conala Meal*”. Animal Feed Science and Technology, Elsevier, ANIFEE-11385, n.10.
- [45] Diane D., Therese J., Jean-Marc E. (2003). “*Head-Only Exposure to GSM 900 MHz Electromagnetic Fields Does not Alter Rat’s Memory in Spatial and Non-Spatial Tasks*”. Behavioural Brain Research, Elsevier, v.145, p.51-61.

- [46] Zook, B.C., Simmens, S.J. (2002). "*Effects of Cell Phone Radio Frequency (860 MHz) on the Latency of Brain Tumors in Rats*". International Congress Series, 1236 Elsevier, p.137-139.
- [47] Fritze, K., Wiessner, C., Kuster, K., Sommer, C., Gas, P., Hermann, D.M., Kiessling, M., Hossmann, K.A. (1997). "*Effect of Global System for Mobile Communication Microwave Exposure on the genomic response of the rat brain*". Neuro Science Pregmon, v.81-3, p.627-639.
- [48] Alexander, V.K., Tan, U. (2003). "*Effects of High Frequency Electromagnetic Fields on Human EEG: A Brain Mapping Study*", Intern. J. Neuroscience, v.113, p.1007-1019.
- [49] Cheng, K., Zou, C. (2006). "*Electromagnetic field effect on separation of nucleotide sequences and unwinding of a double helix during DNA replication*". Medical Hypotheses, v.66, p.148-153.
- [50] Nageswari, K.S. (2003). "*Biological Effect of Microwaves and Mobile Telephony*", Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN.
- [51] Diem E., Schwarz, C., Adlkofer, F., Jhan, O., Ruediger, H. (2005). "*Non-Thermal DNA Breakage by Mobil-Phone Radiation (1800 MHz) in Human Fibroblast and in Transformed GFSH-R17 Rat Granulosa Cell in Vitro*". Mutaiton Reseach, Elsevier, v.583, p.178-183.
- [52] Liu, S.L., Chen G.,Yong, M.S. (2004). "*EMC characterization and process study for electronics packaging Thin Solid Films*". v.462-463, p.454-458.
- [53] Lochot, C., Calvet, S., Ben Dhia, S., Sicard, E. (2004). "*REGINA Test Mask: Research on EMC Guidelines for Integrated Automotive Circuits*". Micro Electronics Journal, v.35-6, p.509-523 .

- [54] (2000). Exposure to Radio Waves near Mobil Phone Base Stations. Erişim tarihi: 01 Ağustos 2015, <http://www.hpa.org.uk/radiation>. Offset, New Delhi, India, 472p, NRPB-R231.
- [55] Kheifets L., Repacholi M., Saunders R., Deventer, E. (2005). “*The Sensitivity of Children to Electromagnetic Fields*”. Pediatrics, 116(2):303-13
- [56] Al-Khelaiwi, T., Meo, S.A. (2004). “*Association of Mobile Phone Radiation with Fatigue, Headache, Dizziness, Tension and Sleep Disturbance in Saudi Population*”. Saudi Med, J.25(6):732-6.
- [57] Oftedal, G., Wilen, J., Sandstrom, M. (2000). “*Mild KH. Symptoms Experienced in connection with mobile phone use*”. Occup Med, 50:237-245.
- [58] Sandstrom, M., Wilen, J., Oftedal, G., Hansson Mild, K. (2001). “*Mobile Phone Use and Subjective Symptoms*”. Comparison of Symptoms Experienced by Users of Analoue and Digital Mobile Phones, Occup Med, 51:25-35.
- [59] Chia, S.E., Chia, H.P., Tan, J.S. (2000). “*Prevalence of Headache Among Handheld cellular telephone users in Singapore: a community study*”. Environ Health Perspect, 108:1059-62.
- [60] Koivisto, M., Haarala, C., Krause, C.M., Revonsuo, A., Laine, M., Hamalainen, H. (2001). “*GSM phone signal does not produce subjective symptoms*”. Bioelectromagnetics, 22:212-215.
- [61] Roosli, M., Moser, M., Baldinini, Y., Meimer, M., Braun-Fahrlander, C. (2004). “*Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure a survey*”. Int J Hyg Environ Health, 207(2):141-50.
- [62] Özgüner, M., Koyu, A., Cesur, G. (2005). “*Biological and Morhological Effects on the Reproductive Organ of Rats After Axposure to Electromagnetic Field*”. Saudi Med, 26(3):405-10.

- [63] Johansen, C. (2004). "*Electromagnetic fields and Health Effects Epidemiologic studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease*". Scand J Work Environ Health, 30 Suppl 1:1-30.
- [64] Repacholi, M.H., Basten, A., Gebiski, V., Noonan, D., Finnie, J., Haris, A.W. (1997). "*Lymphomas in E mu-Pim1 Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields*". Radiat Res, 1997;147:631-640.
- [65] Utteridge, T., Gebiski, V., Finnie, J., Vernon-Roberts, B., Kuchel, T. (2002). "*Long Term Exposure of E-mu-Pim 1 Transgenic Mice to 898.4 MHz Microwaves Does not Increase Lymphoma Incidence*". Radiat Res, 158:357-364.
- [66] Moulder, J., Foster, K., Erdreich, L., McNamee, J. (2005). "*Mobile Phones, Mobil Phone Base Stations and Cancer: A Review*". Int J Radiat Biology, 81(3):189-203.
- [67] Hardell, L., Mild, K., Pahlson, A., Hallquist, A. (2001). "*Ionizing Radiation, Cellular Telephones and the Risk for Brain Tumors*". Eur J Cancer Prev, 10:523-529.
- [68] Hardell, L., Mild, K., Carlberg, M. (2002). "*Case Control Study on the Use of Cellular and Cordless Phones and the Risk for Malignant Brain Tumors*". Int J Radiat Biol, 78:931-936.
- [69] Hardell, L., Mild K., Carlberg, M. (2003). "*Further Aspects on Cellular and Cordless Telephones and Brain Tumors*". Int J Oncol. 22:399-407.
- [70] Muscat, J., Malkin, M., Thompson, S. (2000). "*Handheld Cellular Telephone Use and Risk of Brain Cancer*". JAMA, 284:3001-7.
- [71] Muscat, J., Malkin, M. (2002). "*Shore RE et al. Handheld Cellular Telephones and Risk of Acoustic Neuroma*". Neurology, 58:1304-6.

- [72] Inskip, P., Tarone, R., Hatch E. (2001). "Cellular Telephone Use and Brain Tumors". N Engl J Med,344:79-86.
- [73] Auvinen, A., Hietanen, M., Luukkonen, R., Koskela, R. (2002). "Brain Tumors and Salivary Gland Cancers Among Cellular Telephone Users". Epidemiology, 13:356-9.
- [74] Dreyer, N., Loughlin, J., Rothman, K. (1999). "Cause Spesific Mortality in Cellular Telephone Users". JAMA, 282:1814-6.
- [75] Rothman, K., Loughlin, J., Funch, D., Dreyer, N. (1996). "Overall Mortality of Cellular Telephone Customers". Epidemiology, 7:303-5.
- [76] Mc Evoy, S., Stevenson, M., McCartt, A. (2005). "Role of Mobil Phones in Motor Vehicle Crashes Resulting in Hospital Attendance: A Case Crossover study". BMJ, 331(7514):428.
- [77] Leventhal, A., Karsenty, E., Sadetzki, S. (2004). "Cellular Phones and Public Health". Harefuah, 143(8):614-8, 620.
- [78] (2001), BMA British Medical Association Board of Sciense and Education, Mobile Phones and Health, Aniterim Report.
- [79] Firengiz, A., Kavas, A. (2005). "Cep Telefonlarından Yayınlanan Elektromagnetik Radyasyon Ölçümleri ve Maruz Kalma Standartlarının Değerlendirilmesi". İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, p-65-70, ISBN:975 395-987-7, ITUSEM, Adana.
- [80] Peper, E. (2009). Keep Mobile Phones, Tablets or Laptops Away From Your Body Wireless Devices May Cause Harm. Erişim tarihi: 05 Temmuz 2015, <http://peperperspective.com/2013/04/27/keep-mobile-phones-tablets-or-laptops-away-from-your-body-wireless-devices-may-cause-harm/>
- [81] (2007, 30 Ocak). Bundesamt für Gesundheit BAG, WLAN. Erişim tarihi: 15 Nisan 2015, <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/03570/>

- [82] (2007, 30 Ocak). Bundesamt für Gesundheit BAG, Bluetooth. Erişim tarihi: 01 Mayıs 2015, http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/03571/index.html?lang=en#sprungmarke3_18
- [83] (2001). Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları. Erişim tarihi: 15 Mayıs 2015, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/gsm.pdf>
- [84] Ocaktan, M.E., Akdur, R. (2008). “*Cep Telefonu Teknolojisi ve Sağlık*”, Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi, 28(1), 58-65.
- [85] (2010). Elektromanyetik Alanların Etkileri. Erişim tarihi: 01 Haziran 2015, http://www.emo.org.tr/ekler/99bb08f940d7461_ek.pdf
- [86] Sarıkahya, N.M. (2014). “*Bir İşyerinde Elektromanyetik Alan Ölçümü Yapılması ve Sonuçlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi*”. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. Ankara.
- [87] Aşıl, L.N. (2010). Baz İstasyonları ve Elektromanyetik Işınım. Erişim tarihi: 15 Haziran 2015, http://www.emo.org.tr/ekler/5706a762e2dcd0d_ek.pdf
- [88] Dural, G. (2013). Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı. Erişim tarihi: 08 Temmuz 2015, http://medikalfizik.org/uploads/files/15_MFD_Kongre/16_Mayis_13_GulbinDural.pdf

EKLER

Ek A Elektromanyetik Radyasyon (EMR) / Elektromanyetik Radyasyonun Biyolojik Etkileri / Elektromanyetik Radyasyon Standartları ile ilgili Ulusal ve Uluslararası Kurumlar ve Web Adresleri.

Ek A Elektromanyetik Radyasyon (EMR) / Elektromanyetik Radyasyonun Biyolojik Etkileri / Elektromanyetik Radyasyon Standartları ile ilgili Ulusal ve Uluslararası Kurumlar ve Web Adresleri.

- ANSI: American National Standards Institute, USA
(Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü, ABD)
<http://www.ansi.org/>
- ARPANSA: Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency
(Avustralya Radyasyondan Korunma ve Nükleer Güvenlik Ajansı)
<http://www.arpansa.gov.au/>
- Bioelectromagnetics Society
(Biyoelektromanyetik Topluluğu)
www.bioelectromagnetics.org
- BfS: Bundesamt für Strahlenschutz, Germany
(Radyasyondan Korunma Enstitüsü, Almanya)
<http://www.bfs.de/>
- CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization
(Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi)
<http://www.cenelec.org/>
- COST 244 (Europe) - European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research: Biomedical Effects of Electromagnetic Fields
(Avrupa Bilimsel ve Teknik Araştırma Birimi: Elektromanyetik Alanların Biyomedikal etkileri)
www.radio.fer.hr/
- GNRK: Gazi Non-İyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
www.gnrk.gazi.edu.tr
- EC: European Commission
(Avrupa Birliği)
<http://ec.europa.eu/>
- EMF Portal: Information on the Effects of Electromagnetic Fields
(Elektromanyetik Alanların Etkileri ile ilgili Bilgiler)
<http://www.emf-portal.de/>

- EMF NET: Effects of the Exposure to Electromagnetic Fields: From Science to Public Health and Safer Workplace
(Elektromanyetik Alanlara Maruziyetin Etkileri)
<http://web.jrc.ec.europa.eu/emf-net/>
- EPA: Environmental Pollution Agency, USA
(Çevresel Kirlilik Ajansı, ABD)
<http://www.epa.gov/>
- FCC: Federal Communication Commission, USA
(Federal İletişim Komisyonu, ABD)
<http://www.fcc.gov/>
- FDA: Food and Drug Administration, USA
(Gıda ve İlaç Yönetimi, ABD)
www.fda.gov/cdrh/ocd/mobilphone.html
- IARC: International Agency for Research on Cancer
(Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı)
<http://www.iarc.fr/>
- ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
(Uluslararası Non-İyonize Radyasyondan Korunma Komisyonu)
<http://www.icnirp.de/>
- IEC: International Electrotechnical Commission
(Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
<http://www.iec.ch/>
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers ,USA
(Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü, ABD)
<http://www.ieee.org/>
- ILO: International Labour Office
(Uluslararası Çalışma Örgütü)
<http://www.ilo.org/>
- Institute of Environmental Medicine, Sweden
(Çevre Sağlığı Enstitüsü)
<http://www.imm.ki.se/>

- International Microwave Power Institute
(Uluslararası Mikrodalga Güç Enstitüsü)
www.impi.org
- IRPA: International Radiation Protection Association
(Uluslararası Radyasyondan Korunma Topluluğu)
<http://www.irpa.net/>
- ITU: International Telecommunication Union
(Uluslararası Telekomünikasyon Kurumu)
<http://www.itu.int/>
- KI: Karolinska Institute, Sweden
(Karolinska Enstitüsü, İsveç)
<http://www.ki.se/en/startpage>
- Microwave News
(Mikrodalga Haberleri)
www.microwavenews.com
- NCRP: National Council on Radiation Protection and Measurements, USA
(Ulusal Radyasyondan Korunma ve Ölçümü Kurumu, ABD)
<http://www.ncrponline.org/>
- NIEHS: National Institute of Environmental Health Sciences, USA
(Ulusal Çevre Sağlık Bilimleri Enstitüsü, ABD)
<http://www.niehs.nih.gov/>
- NIES: National Institute of Environmental Studies, Japan
(Ulusal Çevre Çalışmaları Enstitüsü, Japonya)
<http://www.nies.go.jp/>
- NIOSH: National Institute of Occupational Health, USA
(Ulusal Mesleki Sağlık Enstitüsü, ABD)
<http://www.cdc.gov/niosh/>
- NRPB: National Radiological Protection Board, UK
(Ulusal Radyolojik Korunma Birliği, İngiltere)
<http://www.nrpb.org/>

- OSHA: Occupational Safety and Health Administration, USA
(Mesleki Güvenlik ve Sağlık Birimi, ABD)
<http://www.osha.gov/>
- TK: Telekomünikasyon Kurumu, Türkiye
www.tk.gov.tr
- UNEP: United Nations Environment Programme
(Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
<http://www.unep.org/>
- WHO: World Health Organization
(Dünya Sağlık Örgütü)
www.who.int/

ÖZGEÇMİŞ



KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Elgin ZORLU

Uyruğu: Türkiye Cumhuriyeti

Doğum Yeri ve Tarihi: Adana - 05.07.1977

Medeni Hali: Evli

Adres: Bahçelievler M. 1816 S. Gül Apt. B Blok No:4 Yenişehir–Pozcu / MERSİN

E-Posta Adresi: elginzorlu@yandex.com.tr

İletişim (Telefon): 0.505.852 27 40

EĞİTİM

Lise: Mersin Dumlupınar Lisesi (1993)

Lisans: Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü (1999)

Yüksek Lisans: Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı (.....)

MESLEKİ DENEYİM

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, İletim Hatları Tesis Dairesi Başkanlığı – Planlama ve Stratejik Yönetim Daire Başkanlığı, Teknik Şef (2014-.....)

Milli Savunma Bakanlığı, Tedarik Bölge Başkanlığı – Kalite Yönetim Bölge Başkanlığı, Muayene Kabul Uzmanı – Kalite Güvence Uzmanı (2013 – 2014)

Milli Savunma Bakanlığı, NATO Enfrastrüktür Güvenlik Yatırımları Fiyat ve Maliyet Analiz Şubesi, Fiyat ve Maliyet Analiz Uzmanı (2001 – 2013)

YABANCI DİL

İngilizce