

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



WI-FI FREKANS BANDINDAKİ RADYASYON

YÜKSEK LİSANS TEZİ
REMZİ ZORA

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Emin Tacer

İSTANBUL, Şubat 2020

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



WI-FI FREKANS BANDINDAKİ RADYASYON

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REMZİ ZORA

Y1513.100006

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Emin Tacer

İSTANBUL, Şubat 2020

T.C.

İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ



YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y 1513.100006 numaralı öğrencisi Remzi ZORA'nın "Wİ-Fİ FREKANS BANDINDAKİ RADYASYON" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 03.10.2019 tarihli ve 2019/21 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oybirliği/eyşek4•HğH ile Tezli Yüksek Lisans tezi 30.01.2020 tarihinde kabul edilmiştir.

<u>Unvan</u>	<u>Adı Soyadı</u>	<u>Üniversite</u>	<u>İmza</u>
ASIL ÜYELER			
Danışman	Prof. Dr.	Mehmet Emin TACER	İstanbul Aydın Üniversitesi
1. Üye	Prof. Dr.	Murtaza FARSADI	İstanbul Aydın Üniversitesi
2. Üye	Dr. Öğr. Üyesi	Gürkan SOYKAN	Bahçeşehir Üniversitesi

ONAY

Prof. Dr. Ragıp Kutay KARACA

Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Wi-Fi Frekans Bandındaki Radyasyon” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

(30.01.2020)

Remzi ZORA

ÖNSÖZ

Yaşam alanlarımızın her noktasında bizi çevreleyen ve sürekli etkisinde bulunduğumuz teknolojik ve elektronik cihazların oluşturduğu etkilerin en önemlilerinden biri olan kablosuz internet sinyallerinin ne ölçüde bizi etkilediğini ve ne gibi sonuçlar doğurabildiğini anlatmak istedim.

Bu süreçte babamı kaybetmemin üzüntüsünü, dünyaya gelen sevgili oğlum Buğra'yla gidermeye çalıştım.

Tez çalışmam sırasında gerekli bilgi ve yönlendirme benden esirgemeyen sayın hocalarım İstanbul Aydın Üniversitesi Prof. Dr. Mehmet Emin Tacer'e ve İstanbul Teknik Üniversitesi Öğr. Gör. Dr. H. Bülent Yağcı'ya ve desteklerinden dolayı eşime, anneme ve kardeşime teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 2020

Remzi ZORA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
SEMBOLLER	xvii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xxi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Elektromanyetik Model	3
2.2. Elektrik Alan	5
2.3. Manyetik Alan	6
2.4. Elektrik Alan Ve Manyetik Alan Arasındaki Farklar	7
2.5. Elektromanyetik Dalgalar	9
2.5.1. Radyo dalgaları	11
2.5.2. Mikro dalgalar	13
2.5.3. Kızılötesi dalgalar	14
2.5.4. Görünür ışık	14
2.5.5. Morötesi (UV [Ultraviyole]) ışınlar	14
2.5.6. X ışınları	14
2.5.7. Gama ışınları	15
2.6. Elektromanyetizmanın Temel Denklemleri	15
2.6.1. Maxwell denklemleri	16
2.6.2. Düzlem elektromanyetik dalgalar	17
2.6.3. Elektromanyetik dalgaların taşıdığı enerji	17
3. STANDARTLAR VE SINIR DEĞERLER	19
3.1. Özgül Soğurma Oranı	19
3.2. ICNIRP (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection) (Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu)	22
3.2.1. ICNIRP mesleki ve genel halk maruziyet (etkilenme) sınırlamaları	23
3.3. BTK (Bilgi Teknolojileri Kurumu)	25
4. WI-FI FREKANSINDAKİ RADYASYONUN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNE BAZI ÖRNEKLER	27
4.1. Merkezi Sinir Sistemi Üzerine Etkileri	28
4.2. Üreme Sistemi Üzerine Etkileri	28
4.3. Dolaşım Sistemi Üzerine Etkileri	29
4.4. Göz Üzerine Etkileri	29
4.5. İşitme Üzerine Etkileri	29
4.6. Kanseri Üzerine Etkileri	30

4.7. Beyin Üzerine Etkileri	30
4.8. Testisler Üzerine Etkileri	31
4.9. Hormonlar Üzerine Etkileri	31
5. WI-FI MODEMLERDE KULLANILAN ANTENLER.....	33
5.1. Anten Nedir?	33
5.2. Matlab® Uygulaması	36
6. ÖLÇÜMLER VE BULGULAR	45
6.1. Aaronia® Spectran® HF-6060 V4 Spectrum Analyser & Aaronia® HyperLOG® 7060 Log Periyodik Genişbant Yagi Anten	45
6.1.1. LCD display	47
6.1.2. Teknik özellikler	48
6.2. Elektromanyetik Radyasyon Ölçümleri	49
7. SONUÇ	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

EMA	: Elektromanyetik Alan
EA	: Elektrik Alan
MA	: Manyetik Alan
INCIRP Komitesi	: Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma
Wi-Fi	: Wireless Fidelity
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
RF	: Radyofrekans(1)
SI	: Le Systeme International d'Unities (Uluslararası birim Sistemi)
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
ITU	: International Telecommunications Union
RD	: Radyo Dalgaları
VLF	: VeryLowFrequency (Çok Düşük Frekans)
LF	: LowFrequency (Düşük Frekans)
MF	: MiddleFrequency (Orta Frekans)
HF	: High Frequency (Yüksek Frekans)
VHF	: Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)
UHF	: Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans)
SHF	: Super High Frequency (Süper Yüksek Frekans)
EHF	: Extremely High Frequency (Son Derece Yüksek Frekans)
WLAN	: Kablosuz Yerel Alan Ağı
SAR	: SpecificAbsorption Rate (Özgül Soğurma Oranı)
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
MSS	: Merkezi Sinir Sistemi
ICNIRP	: Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu
WHO	: World Health Organisation (Dünya Sağlık Örgütü)
NIR	: İyonlaştırmayan Radyasyon
BTK	: Bilgi Teknolojileri Kurumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1.1 : Temel elektromanyetik alan nicelikleri	4
Çizelge 2.1.2 : Temel SI (Uluslararası Standartlar) birimleri	4
Çizelge 2.5.1.1 : Radyo frekans bantları ve kullanım alanları	11
Çizelge 3.2.1.1 : Elektrik ve manyetik alanlara karşı meslekî maruziyet sınır değerleri	23
Çizelge 3.2.1.2 : Elektrik ve manyetik alanlara karşı genel halk maruziyet sınır değerleri	23
Çizelge 3.3.1 : BTK'ya göre elektrik ve manyetik alanlara karşı maruziyet sınır değerleri	25
Çizelge 6.1.2.1 : Cihazın teknik özellikleri	48
Çizelge 6.2.1 : Elektromanyetik radyasyon ölçümleri	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.2.1	: Elektrik alan çizgileri	6
Şekil 2.3.1	: Sağ el kuralı ile manyetik alan yönünün bulunması	7
Şekil 2.4.1	: Bilgisayardan yayılan EA ve MA	8
Şekil 2.4.2	: Elektrik (E), Manyetik (B), elektromanyetik alan dalgaları (Z) vektör yönleri	8
Şekil 2.5.1	: Elektromanyetik spektrum (frekans dağılımı)	10
Şekil 2.5.1.1	: WLAN çalışma modeli	13
Şekil 2.6.1.1	: Amper - Maxwell denkleminin gösterimi	16
Şekil 2.6.1.2	: Faraday yasasının deneysel gösterimi	16
Şekil 3.2.1.1	: Elektrik alanlara karşı mesleki ve genel halk maruziyet sınır değerleri	24
Şekil 3.2.1.2	: Manyetik alanlara karşı mesleki ve genel halk maruziyet sınır değerleri	24
Şekil 5.1.1	: Çok yönlü ve yönlü anten ışınma modeli.....	34
Şekil 5.1.2	: Dikey kutuplu çok yönlü anten ışınma modeli	34
Şekil 5.1.3	: Dikey kutuplu çok yönlü antende elektrik alan ve manyetik alan düzlemleri.....	35
Şekil 5.2.1	: Küresel koordinat elemanları	36
Şekil 5.2.2	: Dipol anten 3 boyutlu radyasyon modeli kodlamasının Matlab® ekranı	38
Şekil 5.2.3	: Wi-Fi modemlerde kullanılan Dikey Kutuplu Çok Yönlü Antenlerin 3 boyutlu Matlab® uygulaması (ışınma modeli)	39
Şekil 5.2.4	: Kutupsal koordinat elemanları	40
Şekil 5.2.5	: Dipol anten 2 boyutlu radyasyon modeli kodlamasının Matlab® ekranı	42
Şekil 5.2.6	: Wi-Fi modemlerde kullanılan Dikey Kutuplu Çok Yönlü Antenlerin 2 boyutlu Matlab® uygulaması (ışınma modeli)	43
Şekil 6.1.1	: Aaronia® Spectran® HF-6060 V4 Spectrum Analyser & Aaronia® HyperLOG® 7060 Log periyodik genişbant yagi anten	46
Şekil 6.1.2	: Aaronia® Spectran® HF-6060 V4 Spectrum Analyser & Aaronia® HyperLOG® 7060 Log periyodik genişbant yagi anten'e ait Frekans Spektrumları	46
Şekil 6.1.1.1	: Aaronia® Spectran® HF-6060 V4 Spectrum Analyser LCD Ekranı	47
Şekil 6.2.1	: 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğu'nun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı	51
Şekil 6.2.2	: 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı	52
Şekil 6.2.3	: 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı.....	53
Şekil 6.2.4	: 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğu'nun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı	54

Şekil 6.2.5	: 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı	55
Şekil 6.2.6	: 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı	56
Şekil 6.2.7	: 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğu'nun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı.....	57
Şekil 6.2.8	: 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı	58
Şekil 6.2.9	: 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı	59
Şekil 6.2.10	: 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğu'nun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı.....	60
Şekil 6.2.11	: 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı	61
Şekil 6.2.12	: 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı	62
Şekil 6.2.13	: Bir evin içindeki radyo sinyal seviyelerinin karşılaştırılması	63

SEMBOLLER

- Hz** : Hertz
E : Elektrik Alan Şiddeti
 ϵ : Elektrik Geçirgenlik
D : Elektrik Akı Yoğunluğu
H : Manyetik Alan Şiddeti
 μ : Manyetik Geçirgenlik
B : Manyetik Akı Yoğunluğu
C : Coulomb
F : Elektriksel Kuvvet
T : Tesla
G : Gauss
 λ : Dalga Boyu
f : Frekans

WI-FI FREKANS BANDINDAKİ RADYASYON

ÖZET

Elektromanyetik alanları, elektrik ve manyetik alanları oluşturur. Bu alanların; kaynakları, oluşum şekilleri, farkları, frekanslara göre çeşitleri açıklanarak kavramlara açıklık getirildi. Wi-Fi, elektromanyetik spektrumda radyo dalgaları ve mikrodalga frekans bandında yer alan elektromanyetik dalgalardır.

Tezde, kablosuz ağ iletişimini sağlayan sistemlerden bir tanesi olan Wi-Fi'nin frekans bandındaki radyasyonu ve etkileri incelendi. Etkiler; biyolojik dokularda, elektriksel ve manyetik özellikler nispetinde oluşur. Bunlar, özgül soğurma oranları, sızma ve deri kalınlığıyla ilişkilendirilebilmektedir. Bu nedenle bu kavramlar ortaya konuldu ve bu bağlamda yapılan çeşitli biyolojik ve tıbbi araştırmalara yer verildi.

Radyasyonun ne aşamada olduğunun ortaya konulması elektrik ve manyetik ölçümlerle mümkündür. Alınan ölçümler, belli seviyelerle (standartlarla) kıyaslanarak anlam ifade eder ve buna yönelik önlemler alınır. Bu standartlar ve sınırlamalara yer verilmiştir.

Tezimize konu olan wi-fi modem antenlerinin temelleri ve özellikleri ortaya konularak dalga ve etki alanı analizi yapılmış ve MATLAB™ ile iki ve üç boyutlu modelleri tanıtılmıştır.

Tezde teorik olarak verilen bilgilerin gerçek uygulama ile ölçülmesiyle teorik ve pratik bütünlüğün sağlanması amaçlandı. Ölçümler alındı, grafiklere aktarıldı ve kıyaslamalar yapıldı.

Modemlerden alınan wi-fi sinyallerinin dolayısıyla radyasyonun, ulusal ve uluslar arası sınırların epeyce altında kaldığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Wi-Fi, elektromanyetik alan, elektromanyetik spektrum, frekans bandı, radyasyon.*

RADIATION IN WI-FI FREQUENCY BAND

ABSTRACT

Electric fields and magnetic fields give rise to electromagnetic fields.

The sources of these fields, the forms of formation, the differences, the types according to the frequency were explained in the second section and the concepts were clarified. Wi-Fi is in the radiowaves and microwaves bands in the electromagnetic spectrum.

Radiation and effects of Wi-Fi, which is one of the systems that enable wireless network communication, are studied in the thesis. Effects occur within biological tissues relative to electrical and magnetic properties. These can be associated with specific absorption rates, infiltration and skin thickness. This is why these concepts were introduced and a variety of biological and medical research was included.

It is possible to determine the level of radiation by electrical and magnetic measurements. The measurements are compared to certain levels (standards) and the measures are taken accordingly. These standards and limitations are introduced.

The fundamentals and properties of the Wi-Fi modem antennas, which are subject to our thesis, were analyzed. Wave and effective area were illustrated with MATLAB™ in two- and three-dimensional models.

The aim of the thesis is to provide the theoretical and practical integrity by measuring the theoretical information given with real application. Measurements were taken, transferred to the charts and some comparisons are made.

It was concluded that the Wi-Fi signals received from modems (i.e. radiations), remain far below national and international limit values.

Keywords: *Wi-Fi, electromagnetic field, electromagnetic spectrum, frequency band, radiation.*

1. GİRİŞ

Sanayinin gelişmesi ve ekonomik koşulların iyileştirilmesi, insanların çok sayıda elektrikli alet ve teçhizata sahip olmalarını sağlamıştır. Bunlardan; televizyon, bilgisayar, mikrodalga fırınlar, cep telefonları ve Wi-Fi (Wireless-Fidelity [Kablosuz İnternet]) hayatımızda en çok kullandığımız teknolojilerin başında gelir. Zira günlük hayatı kolaylaştırmakta ve daha verimli hale getirmektedir. Bunun yanında, oluşturdukları EMA (elektromanyetik alan) ile ‘‘Elektromanyetik Kirlilik’’ oluşturmaktadırlar (Elmas O., 2007). Bu cihazların yaydıkları elektromanyetik alanlar, insanlar üzerindeki etkilerini giderek artırmaktadır. Bu nedenle, yeni araştırmalar ve bulgular ortaya konması gerekliliği doğmaktadır.

Elektrik prizine bağlı olan bir cihaz çalıştırıldığında içinden elektrik akımı geçer ve verilen elektrik kaynağı gcu ile orantılı olarak manyetik alan oluşturmaktadır. Manyetik alan cihazın yakınında çok gclu olmakta, uzaklařtıķça gcu azalmaktadır. Bu alan kolaylıkla ortadan kaldırılamamakta, şiddeti azaltılamamaktadır (İlhan M. N., 2008).

Elektromanyetik alan, EMA kısaltması ile gösterilmektedir. EMA, hareket halindeki elektrik yüklü taneçiklerin, bir gücün etkisi altında kaldıkları boşluk olarak tanımlanmaktadır (Eker İ., (2013) ve Grlr H.ř., 2012). Elektromanyetik kirlilik oluşturan ve günümüz sistemlerinden en popüler olanı Wi-Fi’dir. Wi-Fi (Wireless Fidelity), kablosuz bağlanma için kullanılan bir kısaltmadır ve kablosuz ağ iletişimi sağlamaktadır. Günümüzde bir Wi-Fi cihazı çoğu kişisel bilgisayarlarda, dizüstü bilgisayarlarda, akıllı telefonlarda, yazıcılarda ve buna benzer birçok elektrikli alette kurulu olarak bulunmaktadır (Maraşlıgiller Y., 2014).

Wi-Fi; 802.11 standardını kullanan, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü’nün (IEEE’nin) ortaya koyduğu wireless radio haberleşme protokldr. 150metreye kadar tüm kablosuz cihazların birbiriyle 300Mbps’ye kadar hızda, 802.11’in a,b,g,n kablosuz iletişim kurmasını sağlar. Ev, ofis, hastane, depo, havaalanları, işyerleri gibi alanlarda bu teknolojidenden yararlanılır.

802.11g, 802.11b'nin bir uzantısıdır. Bu standart ile veri iletim hızı 2 kat artarak saniyede 22 MBit gibi bir hıza ulaşmaktadır. Böylelikle video uygulamaları da dahil olmak üzere, birçok multimedya uygulaması desteklenmektedir. 802.11a'nın veri iletim hızı 802.11b' ye göre 5 kat daha artarak saniyede 54 Mbit'e yükselmektedir. Bu standart, yüksek veri hızlarını gerektiren sistemler ve içeriğin iletilmesi gereken durumlarda kullanılmaktadır (Yüksel M. E. ve Zaim H. A. 2009).

Wi-Fi cihazları elektromanyetik ışıma yaptığından dolayı insan sağlığı konusundaki endişeleri giderek artırmaktadır ve bu cihazların kamu alanlarına çok yakın yerlere yerleştirilmesinden dolayı da bu konu ciddiyetini korumaktadır. Wi-Fi, elektromanyetik spektrumun iyonize edici olmayan 2,45 GHz frekanslı radyo frekans dalgaları bölümünde yer almaktadır. İyonize edici olmayan ışınlamalar ise biyolojik sistemleri ısıtma ya da ısıtılmayan yöntemlerle etkilemektedir (Maraşlıgiller Y., 2014). Çocuklarda ve gençlerde daha uzun etkileme süresi göz önüne alındığında EMA'nın önemi daha da artmaktadır. Bu tezdeki amaç; 2,45 GHz frekanslı RF radyasyonunun bir model oluşturularak sağlık üzerindeki etkilerinin araştırılması, çeşitli kurumların oluşturduğu standartların ortaya konulması ve ölçümlerimizin bu sınır değerlere ne ölçüde yakın olup olmadığını saptamaktır.

2. GENEL BİLGİLER

Tezin amacına uygun olarak yapılacak incelemede elektrik ve manyetik alanların oluşturduğu ışımalar (radyasyon) kullanılacağı, ölçümler alınacağı ve uluslararası kuruluşların belirlediği standartlara göre karşılaştırma yapılacağı için bu bölümde, elektrik alanlar ve manyetik alanların oluşumu ve bu ikili etkinin (elektromanyetik modeller) hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Elektromanyetik Model

Elektromanyetizma, elektrik yüklerinin etkilerini inceleyen çalışmadır. Elektromanyetik modeldeki nicelikler kabaca kaynak ve alan nicelikleri olarak ayrılabilir. Sabit ya da hareketli elektrik yükler kaynakları oluşturur. Bilindiği üzere pozitif ve negatif olmak üzere iki tür yük vardır. Bu + ve - yükler elektrik alan oluşturur. Hareketli yükler ise magnetik alan oluşturur (Amper Yasası). Zamanla değişen elektrik alan ise bir manyetik alan indükler (oluşturur) (Maxwell Yasası) ve zamanla değişen bir manyetik alan da elektrik alan indükler (meydana getirir) (Faraday Yasası).

Elektrik yükünü temsil etmek için genelde q simgesi kullanılır ve birimi C (coulomb)'dur. Bir elektronun yükü $e=1.60 \times 10^{-19}$ C (Coulomb)'dur. Hacimsel yük yoğunluğu $\rho = dq/dV$ hacim başına düşen yük; Yüzeysel yük yoğunluğu $\rho_s = dq/dS$, alan başına düşen yük; Çizgisel yük yoğunluğu $\rho_l = dq/dl$ ise uzunluk başına düşen yükü ifade eder. Akım ise yükün zamana göre değişim miktarıdır $I = dq/dt$ (C / s ya da A)

Alan nicelikleri şunlardır:

Elektrik Alan Şiddeti **E**, Elektrik Geçirgenlik ϵ , Elektrik Akı Yoğunluğu **D**, Manyetik Alan Şiddeti **H**, Manyetik Geçirgenlik μ , Manyetik Akı Yoğunluğu **B**. Bu alan niceliklerine ait sembol ve birimler Çizelge 2.1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1.1 : Temel elektromanyetik alan nicelikleri
Kaynak : Atılgan E., 2013

Alan Nicelikleri			
Sembolleri ve Birimleri	Alan Niceliği	Sembol	Birim
Elektrik	Alan Şiddeti	E	V / m
	Geçirgenlik	ϵ	F / m
	Akı Yoğunluğu	D	C / m ²
Manyetik	Alan Şiddeti	H	A / m
	Geçirgenlik	μ	H / m
	Akı Yoğunluğu	B	T (N / A.m)

Fiziksel ölçümler, bir sayı ve onu izleyen bir birimle ifade edilir. Bu yüzden birim sistemleri kullanılır. Mekanikte; uzunluk, kütle ve zaman kullanılırken Elektromanyetikte bunlara ilaveten bir de akım birimi kullanılır. Bunlar SI (Le Systeme International d'Unities) (Uluslararası birim Sisteminde) bulunur.SI'a ait birim ve kısaltmalar Çizelge 2.1.2'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 2.1.2: Temel SI birimleri
Kaynak : Atılgan E., 2013

Nicelik	Birim	Kısaltma
uzunluk	metre	m
kütle	kilogram	kg
zaman	saniye	s
akım	amper	A

2.2. Elektrik Alan

Elektrik alan, yük topluluğunun (yükli cismin) oluşturduğu itme ya da çekme kuvvetidir.

Bu ilişki;

$$E = \frac{F}{q} \quad (2.2.1)$$

olarak gösterilmektedir.

Yükli parçacığa etkileyen elektriksel kuvvet F, parçacığın yükü q, Elektrik alan ise E ile gösterilmektedir, (Denklem 2.2.1).

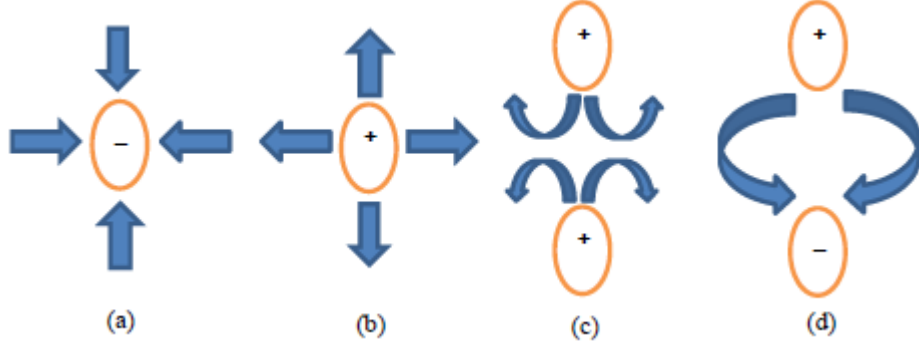
Yükler elektrik alanı oluşturur. EA şiddetinin birimi volt / metre'dir.

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

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (2.2.2)$$

denkleme ile belirtilmiştir. q_1 ve q_2 yüklü olan parçacıkları, r yükler arası mesafe, k ise coulomb sabitini göstermektedir. Coulomb sabiti ise $4 \pi \epsilon_0 \cdot \text{dır}$ (Elhasoğlu D., Türkkan).

Elektrik alanların kaynağı yüklerdir. Eksi yük için elektrik alan vektörü E radyal olarak eksi yüke doğru, artı yük için ise radyal olarak yükten dışarı doğru yönelmiştir. (Özyılmaz C., 2014). Şekil 2.2.1'de elektrik alan çizimleri verilmiştir.



Şekil 2.2.1 : a) Eksi yükün elektrik alan çizgileri b) Artı yükün elektrik alan çizgileri
c) Aynı yüklü olan cisimlerin elektrik alan çizgileri d) Farklı yüklü olan cisimlerin elektrik alan çizgileri

Kaynak : Keysan A., 2015

2.3. Manyetik Alan

Manyetik alan (MA), hareketli yüklerle (akımla) veya manyetize edilmiş ya da manyetik (mıknatıs da dahil) cisimlerden oluşur. V hızıyla akım taşıyan iletkene B manyetik akısı altında etki eden kuvvet (F_B)

$$\vec{F}_B = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.3.1)$$

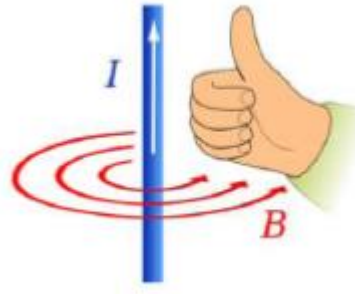
eşitliği ile gösterilir (Cansız M., 2010).

MA, elektrik alan gibi vektörel bir büyüklüktür. MA vektörü B ile ifade edilir.

Manyetik alan içindeki hareket eden yüklere de manyetik kuvvet denir.

Manyetik alan ölçü birimi Tesla (T), Gauss (G) birimleriyle ifade edilmektedir (Keysan A., 2015). Gauss birimi genelde Amerika'da kullanılırken Tesla birimi ise Avrupa ve Türkiye'de yaygın olarak kullanılır.

Elektrik akımı ne kadar yüksekse manyetik alan da o kadar yüksek olur. Bilimsel olarak kabul edilen sağ el kuralında, sağ el başparmağımızı akım yönünde tutup diğer parmaklarımızı iletken etrafına doladığımızda manyetik alan vektör yönü bulunmaktadır. Manyetik alan her ortamda vardır ve akım geçiren her şey manyetik akım oluşturur (Keysan A., 2015). Şekil 2.3.1 'de MA yönünün bulunması gösterilmiştir.



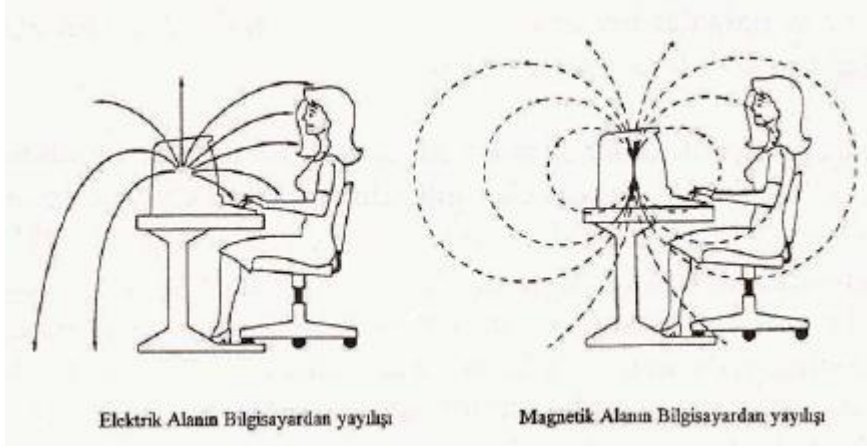
Şekil 2.3.1 : Sağ el kuralı ile manyetik alan yönünün bulunması
Kaynak : Keysan A., 2015

2.4. Elektrik Ve Manyetik Alan Arasındaki Farklar

Bu bölümde ise elektrik alan ve manyetik alanın birbirinden farklı olmasından dolayı etkilerinin de ayrı ayrı ele alınması gerekeceği için bu farklara yer verilmiştir.

Bir elektrik yükünün hareketi sonucu uzayda oluşan değişiklikler elektromanyetik alan (EMA) olarak tanımlanmaktadır. EMA'nın bileşenleri elektrik ve manyetik alandır. Elektrik ve manyetik alanın etki biçimleri ve özellikleri birbirinden farklıdır.

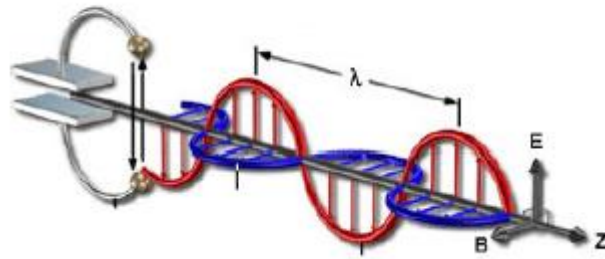
Elektrik ve manyetik canlılara nasıl etki ettiği tam olarak anlayamamıştır. Ama yapılan araştırmalar, manyetik alanın elektrik alana nispeten daha etkin olduğunu göstermektedir. Elektrik alan duvarlardan geçemez, insan derisinden bile geçerken değeri düşer ama manyetizma, bazı spesifik cisimler haricinde hiçbir engel tanımaz (Elhasoğlu D., 2006). Şekil 2.4.1' de bilgisayar önünde oturan bir kişinin elektrik ve manyetik alana nasıl maruz kaldığı gösterilmiştir (İnce T., 2007).



Şekil 2.4.1 : Bilgisayardan yayılan EA ve MA
Kaynak : İnce T., 2007

Boşlukta elektrik ve manyetik alan vektörleri birbirine diktir. Elektromanyetik dalga biçiminde, doğrultusu her iki alana dik olarak yayılmaktadır, Değişimleri sinüzoidal eğri biçimindedir. Şekil 2.4.2. de gösterilmiştir (Güçlü G., 2011).

EA'nın oluşumu ortamda yüklerin varlığına bağlıyken, MA oluşumu yüklerin hareketli olmasıyla oluşmaktadır.



Şekil 2.4.2 : Elektrik (E), Manyetik (B), elektromanyetik alan dalgaları (z) vektör yönleri

Kaynak : Güçlü G., 2011

Michael Faraday yaptığı araştırmaların sonucunda maddelerin, manyetik alana karşı tepki verdiği ve bunun neticesinde bir etkileşim olduğunu ortaya koymuştur. MA, akım şiddeti ile doğru orantılıdır eğer akım şiddeti azaltılır ya da alan üreten kaynağa olan mesafe arttırılırsa manyetik alanın etkisi azaltılabilir (Silsüpür G.B., 2014).

2.5. Elektromanyetik Dalgalar (EMD)

EMD, elektriksel olarak yüklü parçacıklar ya da kaynaklar tarafından oluşur. Elektrik alan ve manyetik alan düzlemleri birbirlerine dalganın (dolayısıyla enerjisinin de) yayıldığı düzleme diktir.

Elektromanyetik dalga bir ortamdan başka bir ortama geçtiği zaman elektrik ve manyetik alanlar tam dik olmaktan çıkar ve yayılma sırasında enerji kaybedilmesine sebep olur (Güçlü G., 2011). Gözle görebildiğimiz ışıklar da birer EMD'dır.

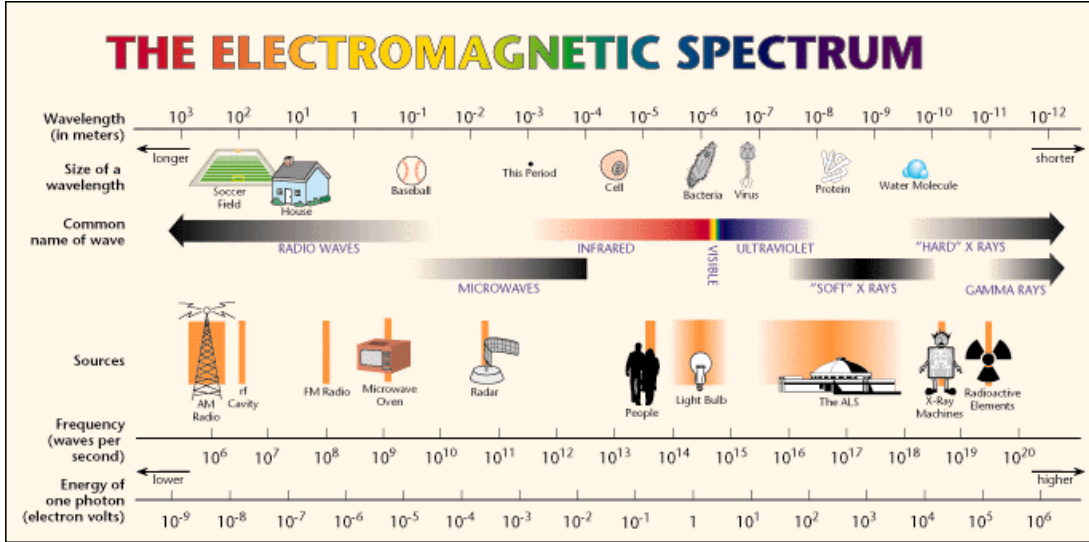
Elektromanyetik dalgaların boşluktaki yayılma hızı (c) saniyede 299729,458 km'ye eşittir. Elektromanyetik dalgalar; yansıma (Reflection), kırınım (Diffraction), kırılma (Refraction) ve saçılma (Scattering) özellikleri ve enine bir dalga olduğu için de kutuplanma özelliği göstermektedir.

Elektromanyetik dalgaların frekansları geniş bir bölge (spektrum) kaplamaktadır. Elektromanyetik dalgalar gibi periyodik dalgaların yayılmasında, art arda iki periyotta birbirine karşılık gelen noktalar arasında ki uzaklık λ dalga boyu, yayılma hızı v ve frekans ise f ile gösterilmektedir. Bunlar arasında; $v = f \cdot \lambda$ bağlantısı geçerlidir. SI birimler sisteminde frekans Hertz (Hz), dalga boyu metre (m) ve hız ise metre/saniye (m / s) birimleriyle ölçülmektedir.

EM (elektromanyetik) dalgalar frekanslarına göre özel isimlerle gruplara ayrılmaktadır ve bunlara elektromanyetik tayf denir. Bu gruplar arasındaki frekans sınırı kesin olarak ayrılmış değildir (Güçlü G., 2011).

EM dalgalar, birçok kaynaklar tarafından yayılmaktadır ve hayatımızdaki önemli bir rol oynamaktadır. Teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak EM dalgaların kullanımı artmaktadır ve günlük yaşantımızda doğada bulunandan daha yüksek EM dalgalara maruz kalınmaktadır (Tekintanağaç T., 2006).

EM dalgaların insan sağlığı üzerindeki etkilerinde ayırıcı çizgi iyonlaştırıcı ve iyonlaştırmayan ışıklardır. Dünya da genel kabulün RF spektrumunun 300 GHz' den bölünmesidir. 300 GHz' in altında kalan RF dalgaları iyonlaştırmayan (non-ionizing), üzerindeki RF dalgaları ise iyonize (ionizing) olarak tanımlanmaktadır (Maraşlıgiller Y., 2014). Elektromanyetik frekans dağılımı (spektrum) Şekil 2.5.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5.1 : Elektromanyetik spektrum (frekans dağılımı)

Kaynak : Çerezci F., 2015.

Non-ionizing (İyonlaştırmayan) EM maruz kalma sonucunda canlılarda ısı ve ısı olmayan iki tür etki görülebilir. Isıl etkiler, vücut tarafından alınan EM enerjisinin ısıya çevrilmesi ve beden sıcaklığının artmasıdır. Bu sıcaklık artışı, kan dolaşımının sıcaklığının artmasına dek sürmektedir. RF (Radyo Frekans) kaynaklarının ortaya çıkaracağı sıcaklık artışı çok düşüktür (Duru C., 2014). Cep telefonu ile beyinde oluşabilecek sıcaklık artışı $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Isıl olmayan etkilere bağımlı olarak ise zihinsel aktivitelerde değişiklik, uykusuzluk yada düzensiz uykusuzluk ve baş ağrıları bulunmaktadır. Fakat bunlar oldukça fazla dozlarda geçerlidir.

İyonlaştırıcı EMD'ların, enerjisi ise hücrelerdeki elektronları koparabilecek (iyonlaştıracak) düzeyde yüksek enerjili oldukları için bu isimle anılırlar ve bu enerjideki dalgalara genel olarak "dalga" değil, "ışın" denilir. DNA ve biyolojik dokuda hasara yol açabilen moleküler değişikliklere neden olabilirler. Bu etkinin olabilmesi için dokunun X ve Gama ışınlarını gibi yüksek enerjili fotonlarla etkileşmesi gerekmektedir (Atılğan E., 2013).

Özetle; iyonlaştırıcı EMD'lara "ışın", iyonlaştırmayan ve insan gözüyle görünür tayftakilere (frekans aralığındakilere) "ışık", diğer iyonlaştırmayan EMD'lara ise "dalga" denir.

2.5.1. Radyo dalgaları

ITU'a (International Telecommunications Union'a) göre EM (Elektromanyetik) spektrumunda, 300 GHz'ten az olan RF (radyodalgaları) spektrumu ve bu bölgedeki dalga ise Radyo Frekans Dalgaları (RF) olarak adlandırılır. RD (radyo dalgaları), iletkenlerden geçen ivmeler (hızlanmalar) sonucu oluşur. Bu tür dalgaların dalga boyları 30 cm'den başlayarak kilometrelere kadar uzanır. Önemli biyolojik etkileri bulunmamaktadır. Radyo, televizyon, radar,wireless (kablosuz) internet vb. türlü sinyal iletiminde kullanılır (Altun N., 2001).

EM dalgaların radyo haberleşme hizmetlerinin yürütülmesinde kullanılan RD (radyo dalgaları), bantlara ve dalgaboylarına göre kendi arasında Çizelge 2.5.1 'deki gibi sınıflandırılmaktadır (Genç Ö., 2010).

Çizelge 2.5.1.1 : Radyo frekans bantları ve kullanım alanları
Kaynak : Genç Ö., 2010

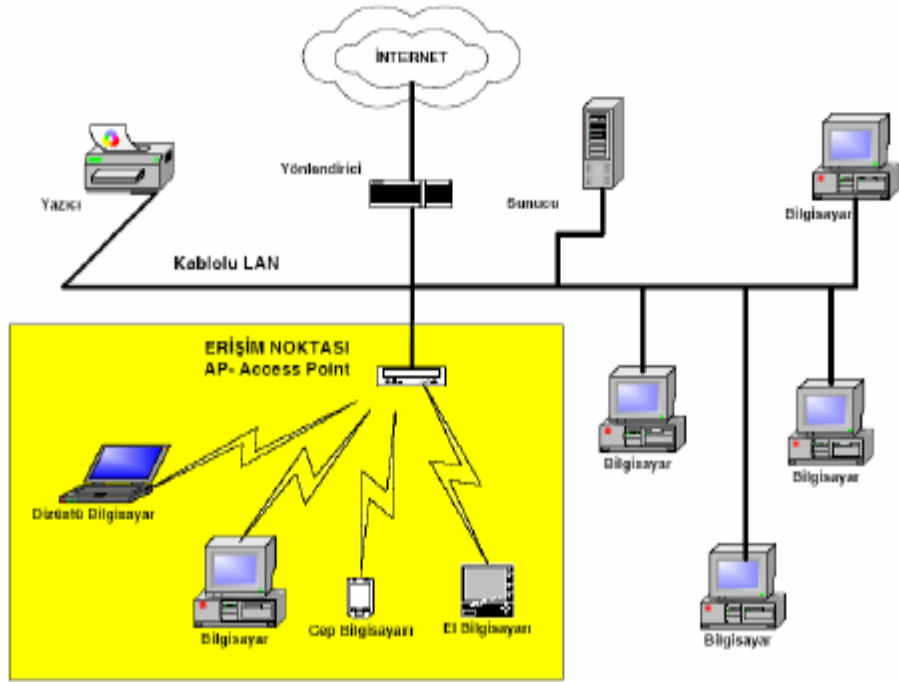
Bant	Frekans	Dalga boyu	Kullanıldığı yer
VLF	3 – 30 kHz	100 – 10 km	Navigasyon, sonar
LF	30 – 300 kHz	10 – 1 km	Radyo ile yön bulma
MF	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m	AM yayını, deniz radyosu, yön bulma
HF	3 – 30 MHz	100 – 10 m	Telefon, Telgraf, Fax, kısa dalga uluslararası radyo yayını
VHF	30 – 300 MHz	10 – 1 m	TV, Polis, taksi mobil haberleşme
UHF	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm	TV, uydu haberleşmesi, kablosuz internet (Wi-Fi)
SHF	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	Uçak radarı, mikrodalga linkleri, uydu haberleşmesi,
EHF	30 – 300 GHz	1 cm – 1mm	Radar, deneysel amaçlar

Kablosuz ağlardan yayılan radyofrekans dalgaları geniş bir kitleyi etkilemektedir. Kablosuz iletişim ağları (WLAN [Wireless Local Area Network]), iki veya daha fazla bilgisayar veya dijital (sayısal) cihazın birbirleriyle kablosuz olarak veri iletişimini sağlayan yapılardan oluşmaktadır (Yılmaz H., 2007).

Wi-Fi (Wireless Fidelity [Kablosuz Bağlantı]), kablosuz bağlanmanın bir karşılığıdır ve haberleşme için cep telefonları ve telsizlerde olduğu gibi RF (radyo frekansı) dalgalarını kullanan bilgisayarlar, tabletler, dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonları için kablosuz ağ anlamına gelmektedir.

Wi-Fi;

- Bir bilgisayarın kablosuz adaptörü verileri RF sinyaline çevirerek bir anten aracılığıyla yakınındaki kablosuz yönlendiriciye iletir.
- Kablosuz yönlendirici bu sinyali alır ve çözer. Bu bilgiyi kablolu bir Ethernet bağlantısı kullanarak internete gönderir. Ethernet ise yaygın olarak kullanılan bir yerel alan ağı (LAN [Local Area Network]) teknolojisidir.
- Bu süreç aynı zamanda ters şekilde de çalışmaktadır. Yönlendirici bilgileri internetten alarak bu bilgileri RF (Radyo Frekans) sinyaline çevirir ve anten üzerinden onu bilgisayarın kablosuz adaptörüne yollar. Şekil 2.5.1.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5.1.1 : WLAN çalışma modeli
Kaynak : (Yılmaz H., 2007)

Wi-Fi, yüksek frekanslı (2,45 GHz) EM dalgalar yaydığından dolayı kullanımına dair bazı endişeler ortaya çıkmaktadır. Ancak bu sistemler hem bilgisayar hem de yönlendirici anteninden 0,3 W civarında çok düşük güç yaymaktadırlar (Maraşlıgiller Y., 2014).

2.5.2. Mikrodalgalar

Mikrodalgalar, kısa dalga boylu RD (radyo dalgası) olarak bilinmektedir. 1 mm ile 30 cm arasında değişen dalga boyuna sahiptirler. Maddeleri oluşturan atom ve moleküllerle etkileşme yaparak onların hareketlerinden meydana getirdikleri sürtünme ile ortaya ısı çıkmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple mikrodalgaya maruz kalan maddeler ısınmaya başlamaktadır.

Mikrodalgaların insan sağlığı üzerindeki tanımlanmamış olumsuz etkileri; göz sağlığının bozulması ve sinir sisteminde meydana gelen değişimlerdir (Düzgün S., 2009).

2.5.3. Kızılötesi dalgalar

Kızıl ötesi dalgalar, ısı dalgaları olarak da bilinmektedir. Dalga boyu 0,8 m ila 125 m arasında değişiklik gösterir. Kızılötesi dalgalar fizik tedavi ve fotoğrafçılıkta kullanılmaktadır (Köklükaya A. N., 2013).

2.5.4. Görünür ışık

EM dalgaların en bilinen halidir. Görünür bölge mor ile başlar, kırmızı ile biter. Dalga boyları 360 – 800 nm arasındadır. Görünür radyasyon iyonize değildir. Güneş spektrumunda buldukları gibi, atomların ısı etkisinde uyarılmaları sonucunda da salınmaktadırlar. Görünür ışık salma ve soğurma spektrumlarının spektrofotometrik olarak ölçülmesi, en önemli madde analiz yöntemlerinden biridir (Düzgün S., 2009).

2.5.5. Morötesi (UV [Ultraviyole]) ışınlar

100 – 360 nm arasındaki dalga boyuna sahip ışınlardır. UV radyasyon, elektromanyetik spektrumun görünür ışıktan daha kısa dalga boylu ve daha yüksek enerjili bölgesini oluşturmaktadır.

Bilim insanları UV ışınlarını aynı etkiye sahip olmadıkları için UVA, UVB ile UVC olarak üç çeşittir. UV ışınlarının %95 ile en bilineni olan UVA ışınlarıdır, UV ışınlarının %5'ini oluşturan ışınlar UVB ışınlarıdır. Oldukça tehlikeli olan bu ışınların çok önemli bir bölümü atmosfer tarafından engellenmektedir ve UV ışınlarının sadece %5'lik kısmını oluşturmaktadır. UVC ışınları ise sağlık için en tehlikeli ışınlar olduğu için ozon tarafından tamamen engellenmekte ve bizlere ulaşmamaktadır (Dilek B., 2014).

2.5.6. X ışınları

X ışınları, dalga boyları 0,1- 100 Å⁰ (Angström) arasında değişmektedir. Bu ışınlar yüksek enerjili fotonların metal bir yüzeye çarpması sonucu oluşmaktadır. X ışınları, dokuyu geçebilme özelliğine sahip olduğundan dolayı tıpta teşhis ve tedavi aracı olarak kullanılmaktadır (Köklükaya A. N., 2013).

2.5.7. Gama ışınları

Radyoaktif izotopların çekirdek dönüşümünde ortaya çıkan gama ışınlarının dalga boyları $10^{-14} - 10^{-10}$ m arasındadır. Gama ışınlarının özellikleri ve etkileri x-ışınları ile benzerdir. Gama ışınları nükleer reaksiyonla üretilebilirler. Cisimlerin içinden geçtiklerinde, maddenin atomları ve molekülleri dışındaki elektronların tamamı ile etkileşebilmektedir (Altun N., 2001).

2.6. Elektromanyetizmanın Temel Denklemleri

Herhangi bir EM olay, Maxwell denklemlerini sağlayan vektörel E, D, H ve B alanları ile belirlenmektedir. Bunlar sırasıyla EA, elektrik yer değişim vektörü, MA ve manyetik indüksiyondur.

Bunlar;

$$D = \epsilon E \quad (2.6.1)$$

$$B = \mu H \quad (2.6.2)$$

$$J = J_f + J_c = \sigma E + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2.6.3)$$

Burada “ ϵ ” elektriksel geçirgenlik, “ μ ” manyetik geçirgenlik, “ J_f ” iletim akımı, “ J_c ” konveksiyon akımı, “ σ ” ise iletkenlik katsayısıdır.

EM alanları daha iyi anlayabilmek için bazı temel fizik kanunlarını gözden geçirelim.

2.6.1. Maxwell denklemleri

Elektromanyetik alanlarla ilgilenen elektromanyetizmanın temel denklemlerini Maxwell denklemleri oluşturmaktadır. 19.yy. fizikçilerinden James Clerk Maxwell; Gauss, Amper ve Faraday kanunlarını kullanarak elektromanyetizmanın temel denklemlerini yazmıştır (Elhasoğlu D., 2006).

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (2.6.1.1)$$

Pozitif ve negatif (elektrik) yükler(i) elektrik alan oluşturur ve bu elektrik alan vektörü, yüklerden dışarıya doğrudur, (Denklemler 2.6.1.1).

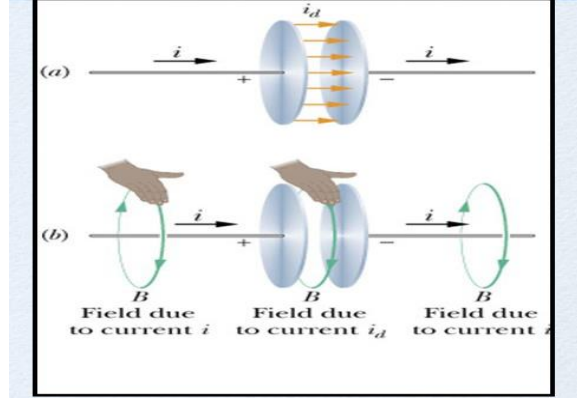
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.6.1.2)$$

Manyetik yük yoktur ve manyetik alan radyal değildir.

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.6.1.3)$$

$$(\text{Akım yoğunluğu} = \vec{J} = \sigma \vec{E}) \quad (2.6.1.4)$$

Hareketli yükler (elektrik akımı) ve zamanla değişen elektrik alan bir manyetik alan indükler (oluşturur), (Denklem 2.6.1.3).

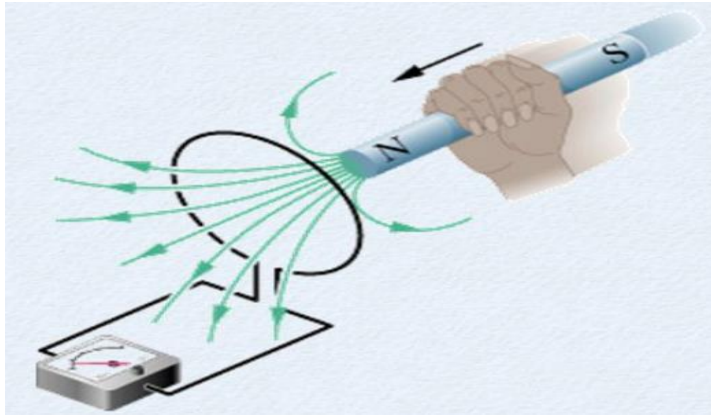


Şekil 2.6.1.1 : Amperè - Maxwell denkleminin gösterimi

Kaynak : Url-1

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.6.1.5)$$

Zamanla değişen bir manyetik alan, elektrik alan indükler (meydana getirir), (Denklem 2.6.1.5 ve Şekil 2.6.1.2).



Şekil 2.6.1.2 : Faraday yasasının deneysel gösterimi

Kaynak : Url-2

Zamanla değişen manyetik akı yoğunluğunun bir elektromotor kuvveti (voltaj) oluşturmasından hareketle;

$$EMF = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\int_S \vec{\nabla} \times \vec{E} \cdot \vec{dS} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B}(t) \cdot \vec{dS} = \int_S \frac{-d\vec{B}(t)}{dt} \cdot \vec{dS}$$

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

olduğu ispatlanır.

2.6.2. Düzlem Elektromanyetik Dalgalar

Uzayın tüm noktalarında zamanla değişen elektrik alan (E) ve manyetik alan (H) vektörlerinin yayılım yönüne dik / dikey olması durumu “düzlem elektromanyetik dalga” olarak isimlendirilir (Genç Ö., 2010).

Diğer bir ifadeyle: EMD'nin x ekseninde, elektrik alanın (E); y ekseninde, manyetik alanın (B); yayılım yönünün ise z eksenine doğrultusunda olması, birbirine dik konumda olan dalga topluluğu şeklinde olup bu, düzlem dalga olarak nitelendirilir.

Elektromanyetik dalgalar boşlukta c (ışık hızı) ile yayılım (radyasyon) gösterirler.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = 3.10^8 \text{ m/s dir.}$$

(Boşlukta $\mu = \mu_0$ ve $\epsilon = \epsilon_0$ 'dır.) ($\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ ve $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$, $\mu_r = \epsilon_r = 1$)

2.6.3. Elektromanyetik Dalgaların Taşıdığı Enerji

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.6.3.1)$$

ve

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.6.3.2)$$

denklemlerini vektörel işlemlerle çözümlendiğimizde; bir elektromanyetik dalganın taşıdığı enerjideki zamanla meydana gelen değişim Poynting vektörüyle ifade edilir ve bu Poynting vektörü (\vec{P}), elektrik alan ve manyetik alan düzlemlerine dik olan düzlem doğrultusunda olup; $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$ (W/m^2) 'dir.

3. STANDARTLAR VE SINIR DEĞERLER

Önceki bölümde tez çalışmasının esaslarını oluşturan elektrik ve manyetik kavramlara, bunların oluşum şekillerine ve frekanslara göre özelliklerine yer verilerek temeller ortaya konmuştur.

Bir önceki sayfada Poynting Teoreminden bahsedilmişti. Bu kısımda bunun önemi ve anlamına değinmek yerinde olacaktır.

Poynting teoremine göre; Herhangi bir anda kapalı bir yüzeyin içinden geçen toplam güç; elektrik enerjisinin artış oranı, manyetik enerjinin artış oranı ve bu kapalı hacmin içine yayılan ohmik gücün toplamına eşittir. Nitekim elektromanyetik dalgalar enerji taşırlar ve geçtikleri yüzeylere enerjilerini aktarırlar. İşte bu noktadan itibaren bu elektrik alan ve manyetik alanların oluşturduğu enerjinin vücuda aktarılması (soğurulması/emilmesi) ve radyasyondan etkilenme konusuna, tezin en önemli amaçlarından birine gelmiş bulunuyoruz.

3.1. ÖZGÜL SOĞURMA ORANI (SAR)

Birim ağırlık (kg) başına EM (elektromanyetik) enerjinin soğurma (emilme) oranına SAR (Specific Absorbtion Rate) (Özgül Soğurma Oranı) denir.

Özgül Soğurma Oranı'nın (SAR 'nin) birimi :
$$\text{Özgül Isı} \times \frac{\text{Sıcaklık}}{\text{Zaman}} = \frac{\text{Enerji}}{\text{Kütle} \times \text{Sıcaklık}} \times \frac{\text{Sıcaklık}}{\text{Zaman}} = \frac{\text{Güç}}{\text{Kütle}}$$
 cinsinden olup W / kg 'dır.

Yüksek (SAR değerinde bir) radyasyona maruz kalınmasıyla, dokular yüksek miktarlarda enerjiyi soğurmaktadır. Bu enerjiyi soğurma hızı (güç), iyonlaştırmayan radyasyon olan Radyo Frekanslarında (ve dolayısıyla radyo frekanslarında olan Wi-Fi frekanslarında), dokulardaki moleküler bağları koparmaya yetmediğinden, (ısı enerjisi olarak soğurulması) dokuların ısınması şeklinde ortaya çıkmaktadır.

EM dalganın insanlar üzerindeki etkisinin net olarak belirlenebilmesi için elektrik alan şiddetinin doğrudan vücut içerisinde ölçülmesi gerekmektedir ancak fiziksel olarak bu mümkün olmadığından insan vücudu iletkenliğine sahip kimyasallardan oluşan modeller üzerinde çalışmalar yapılarak bilgisayar ortamında ölçülmektedir.

İnsan vücudu tıpkı iletken bir madde gibi davrandığı için ve vücut dokularının iletkenliği birbirinden farklı olduğundan, SAR değerleri dokulara göre değişiklik göstermektedir.

SAR oranı matematiksel olarak;

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2 \text{ (W/kg)} \quad (3.1.1)$$

olarak ifade edilmektedir.

Burada “E”, elektrik alan (V/m); “ σ ”, elektriksel iletkenlik (S/m); “ ρ ” ise öz kütle (kg/m^3) ’tür.

Canlı vücudunda doku yoğunluğu (öz kütle) veya elektriksel iletkenlik değiştiğinde SAR (özgül soğurma oranı) değeri de değişir. Vücut ve baş bölgesi için yapılan çalışmalarda belirli dokuların elektriksel iletkenliğine ve öz kütlelerine yakın örneklerle fantomlar oluşturulup simülasyonlar (benzetimler) yapılmıştır. Bu ölçümlerde ise fantomların içine sıcaklık yada alan radyasyon sensörleri yerleştirilerek ölçümler alınmıştır.

Tezde ise SAR’ nin sıcaklık (değişimi) ve özgül ısı arasındaki (3.1.2) nolu bağıntı üzerinden gidilerek değerlendirmeler yapılacaktır.

$$SAR = c \frac{dT}{dt} \text{ (W/kg)} \quad (3.1.2)$$

Burada “c”; spesifik ısı kapasitesi (özgül ısı), “dT/ dt” ise; doku içerisindeki zamanla meydana gelen sıcaklık değişimidir. Öz ısı; 1kg’lık kütle için sıcaklığını 1°C (yada 1°K) artırmak için gereken ısı enerjisi miktarıdır.

(3.1.2) denklemi ile; belli bir dokuda (c sabitinde) ve belirli sürede dokuda meydana gelen sıcaklık değişimi, dokuların biyolojik ve kimyasal olarak zarar görme eşiği 1°C olarak kabul edilebilir.

Nitekim, 30 dk boyunca 4 W/kg SAR değerindeki radyo frekansındaki radyasyona maruz kalınırsa vücut sıcaklığında 1°C'lik sıcaklık artışı olmaktadır. Bu 4W/kg, “temel SAR sınır değeri” olarak kabul edilmiş ve ilk sınır değer bu şekilde belirlenmiştir (Atakan Y., 2016).

Bu durum göz önüne alınarak; ICNIRP, ANSI, IEEE, ITU, IRPA, BTK gibi kurumlar radyasyona maruz kalma (SAR) sınır değerlerini oluşturmuşlardır.

Bu kurum ve kuruluşlar, radyasyonun etkilerini inceleyen, çeşitli şartlar altında maruz kalınan etkilerin boyutları hakkında sınırlamalar ve standartlar geliştirir. Etkilerin ne düzeyde olduğu ve sınırlamalara ne kadar yakın ya da uzak olduğu hakkında fikir edinilebilir. Böylece gereken önlemler alınabilir ve araştırma-geliştirmeler yapılabilir. Bu bölümde ise Türkiye'de bu konuda en yetkili ve ilgili kurum olan Bilgi Teknolojileri Kurumu ve uluslararası düzeyde en çok ilgi odağı olan kuruluşlardan olan ICNIRP göz önüne alınmıştır.

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) SAR değerini, mesleği gereği EMA'ya (Elektro Manyetik Alan'a) maruz kalanlar için, bu “temel SAR sınır değeri” ‘nin 10'da 1'i olan 0,4 W/kg, genel halk için ise 0,08 W/kg olarak kabul etmektedir.

0,08 W/kg 'lık sınır değere eşdeğer olarak Volt/metre (Elektrik Alan), Amper/metre (Manyetik Alan) ve Watt/m² (Güç Yoğunluğu) birimlerinde sınır değerler ortaya konulmuştur.

Tezin konusu olan Wi-Fi frekansları için türev sınır değerleri ICNIRP tarafından belirlenmiş olup bu değerler sırasıyla; **61.4 V/m**, **0.16 A/m** ve **10 W/m²** 'dir.

Bu değerler Çizelge 3.2.1.2 'de gösterilmiş olup ICNIRP hakkında geniş bilgi bir sonraki (3.2) ayrıttta yer almaktadır.

3.2. ICNIRP (INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONISING RADIATION PROTECTION)(ULUSLARARASI İYONLAŞTIRMAYAN RADYASYONDAN KORUNMA KOMİSYONU)

ICNIRP (Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu); insanları ve çevreyi, NIR (iyonlaştırmayan radyasyonun) zararlı etkilerinden korumak, bilgilendirmek için bilimsel veriler sağlayan bir kurumdur.

ICNIRP, değişik alt gruplardaki frekanslara maruziyet sınırlamaları getirir ve tavsiyelerde bulunur. Bölgesel, ulusal, WHO (Dünya Sağlık Örgütü) gibi uluslararası kurumlar tarafından yararlanılan yönergeler, bildirimler yayımlar ve görüş bildirir (Url-3).

NIR (iyonlaştırmayan radyasyon); ses gibi mekanik dalgaları, radyodalgaları, kızılötesi, görünür ışık, mor ötesi ışınlar gibi elektromanyetik dalgaları ifade eder. Günlük hayatta, iyonlaştırmayan radyasyonun başlıca kaynakları;elektrikli ev aletleri, mikrodalga fırınlar, cep telefonları, Wi-Fi ve güneşiğidir.

Elektromanyetik spektrumda NIR; gama ve x ışınları gibi iyonlaştırıcı ışınlarla göre dalgaboyu olarak daha yüksek, frekans olarak dolayısı ile enerji olarak daha düşüktür.

İyonlaştırıcı ışınların (X ve Gama Işınlarının) enerjisi, atomların elektronlarını koparacak (iyonlaştıracak) kadar yüksek enerjiye sahip oldukları için iyonlaştırıcı ışınlar olarak isimlendirilir. NIR (iyonlaştırmayan radyasyon) ise (mor ötesi ışınların bir kısmı hariç) iyonlaştıramaz. NIR, frekans ya da dalgaboyu olarak farklı alt gruplara ayrılmış olup farklı alt grupların vücut üzerinde farklı etkileri vardır ve farklı korunma yöntemleri gerektirir.

Sınırlamalar; "Mesleki" ve "Genel Halk" maruziyeti olarak iki kategoride incelenir.

"Mesleki Maruziyet Sınırlamaları"ndan kasıt, mesleği gereği belli frekanslar altında radyasyonun etkisinde kalan kişilere ait etkilenme sınırlamalarıdır.

"Genel Halk Maruziyet Sınırlamaları" ise belli frekanslar altında radyasyonun etkisinde kalan herhangi şahısları ilgilendirir.

3.2.1. ICNIRP Mesleki ve Genel Halk Maruziyet (Etkilenme) Sınırlamaları

Farklı frekans aralıklarında fizyokimyasal etkiler olduğu için bu sınır değerler, farklı aralıklarda farklı değerlere sahiptir. Matematiksel olarak parçalı ve frekansın fonksiyonu şeklindedir.

Çizelge 3.2.1.1 ve 3.2.1.2 'de mesleki ve genel maruziyet (etkilenme / etkisi altında kalma) sınır değerleri verilmiştir:

Çizelge 3.2.1.1 : Elektrik ve manyetik alanlara karşı **meslekî** maruziyet sınır değerleri

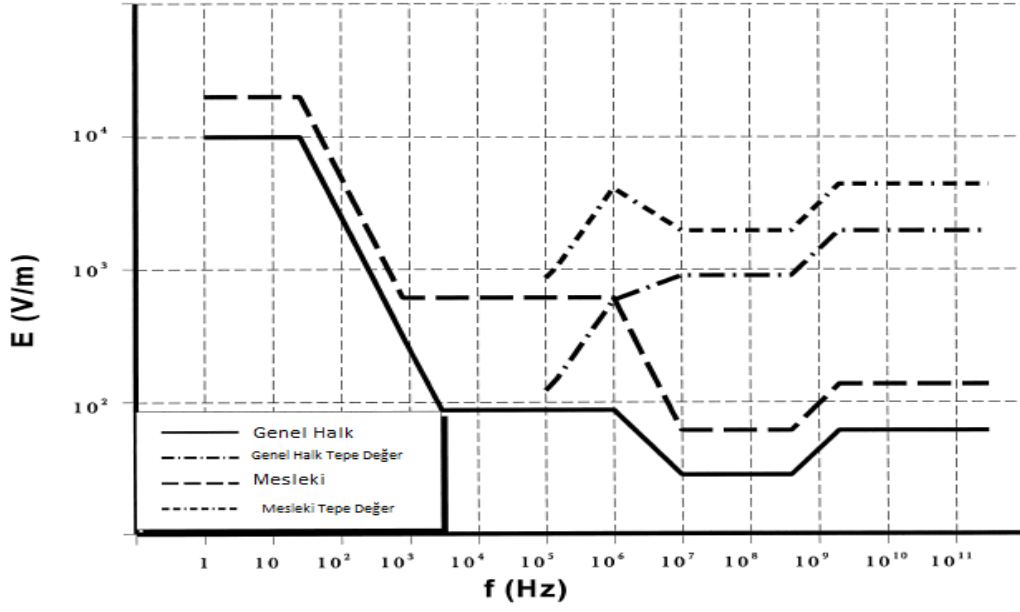
Kaynak : Url-4

Frekans Aralığı	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Güç Yoğunluğu (W/m ²)
0-1 Hz	—	1.63×10^5	—
1-8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	—
8-25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f$	—
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
400-2,000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
2-300 GHz	137	0.36	50

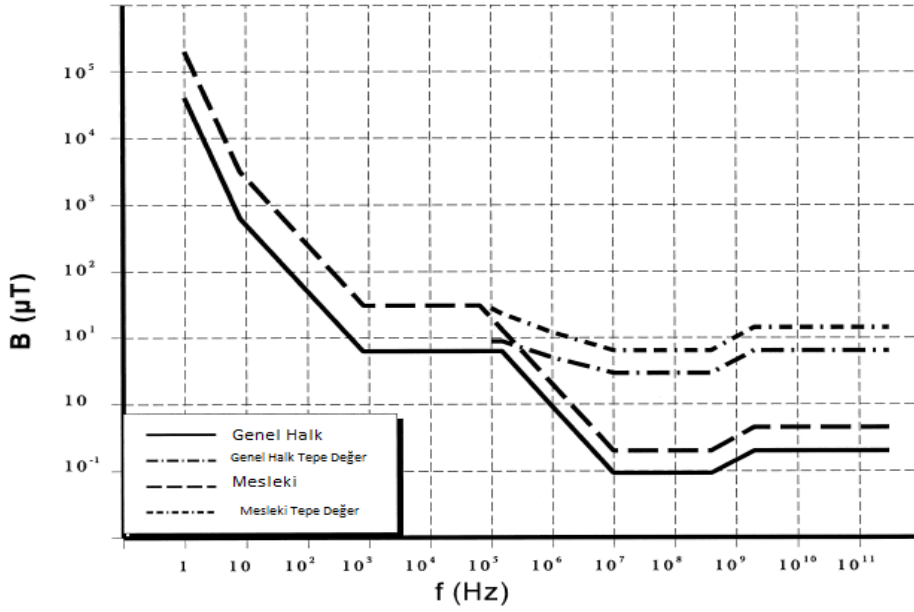
Çizelge 3.2.1.2 : Elektrik ve manyetik alanlara karşı **genel** maruziyet sınır değerleri
Kaynak : Url-4

Frekans Aralığı	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Güç Yoğunluğu (W/m ²)
0-1 Hz	—	3.2×10^4	—
1-8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10,000	$4,000/f$	—
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
400-2,000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0.16	10

Bu iki çizelgeye ait elektrik alan - frekans ve manyetik alan - frekans değişkenlerine ait logaritmik grafikler aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.2.1.1 : **Elektrik** alanlara karşı **meslekî ve genel** maruziyet sınır değerleri
Kaynak : Url-4



Şekil 3.2.1.2 : **Manyetik** alanlara karşı **meslekî ve genel** maruziyet sınır değerleri
Kaynak : Url-4

3.3. BTK (Bilgi Teknolojileri Kurumu)

2009 tarihli Yönetmelik, 1998 yılında yayımlanan ICNIRP'nin kısa süreli ve dokuda 10°C'lik ısı artışının tehlike eşiği olarak kabul edilmesi prensibindedir.

BTK yönetmeliğine göre aşılmaması gereken sınırlar GSM 900 MHz ile çalışan baz istasyonları için 42 V/m, 1800 MHz ile çalışan baz istasyonları için 57 V/m'dir. Üçüncü nesil sistemler olan 2100 MHz için sınır değer ise 61 V/m'dir. Her bir GSM operatörünün bu sınır değerlerin dörtte birini aşmaması gerekir. Örneğin 900 MHz ile çalışan bir baz istasyonu $42/4=10,5$ V/m'yi, 1800 MHz ile çalışan bir baz istasyonu 14,5 V/m'yi ve 3G GSM'ler ise $61/4 = 15,25$ V/m'yi aşamaz. Ancak her üçünün bulunduğu ortamın toplamı da, 42 V/m'nin altında kalmak zorundadır (Arslantaş N. (2012).

Çizelge 3.3.1 : BTK'ya göre elektrik ve manyetik alanlara karşı maruziyet sınır değerleri

Kaynak : Url-5

Frekans Aralığı (MHz)	elektrik alan şiddeti (V/m)		manyetik alan şiddeti (A/m)	
	Tek cihaz için sınır değeri	Ortam için sınır değeri	Tek cihaz sınır değeri	Ortamın toplam sınır değeri
0,010 - 0,15	19,3	65,25	1,1	3,75
0,15 - 1	19,3	65,25	$0,16/f$	$0,54 / f$
1 - 10	$19,3 / f^{1/2}$	$65,25 / f^{1/2}$	$0,16 / f$	$0,54 / f$
10 - 400	6,2	21	0,016	0,054
400 - 2000	$0,305 f^{1/2}$	$1,03 f^{1/2}$	$0,00082 f^{1/2}$	$0,0027 f^{1/2}$
2000 - 60 000	13,5	45,75	0,035	0,12

4. WI-FI FREKANSINDAKİ RADYASYONUN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNE BAZI ÖRNEKLER

Elektromanyetik dalgalar gözle görülemez ve hissedilemez ancak sonuçları saptanabilir. Bunlardan dolayı elektromanyetik dalgaların insan sağlığı üzerindeki zararları etkileri fark edilememektedir.

Elektromanyetik alanın birincil etkisi ısı oluşumudur ve bu etkinin oluşması için de yüksek seviyeli EMA uygulanması gerekmektedir, ancak düşük seviyeli elektromanyetik alanların da ısı etkiler dışında biyolojik etkileri oluşturması söz konusudur (Köklükaya A. N., 2013).

Elektromanyetik kirliliğin sebep olduğu etkiler elektromanyetik alanın frekansına, şiddetine, mesafesine ve etki süresine bağlı olarak değişmektedir. Bu etkilerin insan sağlığı üzerine kısa ve uzun süreli olmak üzere iki ayrı etkisi bulunmaktadır. Baş ağrısı, uykusuzluk, yorgun olma hali ve baş dönmesi kısa süreli etkilerken, elektromanyetik dalgaların vücutta bulunan moleküler ve kimyasal bağ yapılarına, hücreye ve vücut koruma mekanizmasına gelen etkiler ise uzun sürelidir (Köklükaya A. N., 2013).

Bazı araştırmacılar melatonin hormonu önemli bir antioksidan ve kanser önleyici ve bireylerin psikolojilerine etkisi olduğu için melatonin hormonu üzerinde çalışmışlardır. Melatonin hormonu, kafanın merkezinde yer alan ve bir manyetik organ olan pineal bezi tarafından salgılanmaktadır. Pineal bezi manyetik enerjiye duyarlıdır, bu yüzden melatonin hormonu geceleyin dünya manyetik alanı etkin olduğunda salgılanmaktadır. Bu hormon kişiden kişiye değişiklik gösterse de gece en yüksek seviyede salgılanmaktadır.

40 Hz elektromanyetik alana 3 hafta boyunca günde 20 dk maruz kalan bir kişinin melatonin hormon konsantrasyonunda azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Radyasyonu büyük ölçüde elektronik cihazlar oluşturur (Türkkan A., Pala K., 2009).

Wireless cihazlarının yaydığı radyofrekans dalga boyları hücresele ve moleküler düzeyde birçok zararlı etkiye sebep olmaktadır. Lai ve ark. Radyofrekans dalgalarına maruz kalmanın sonucunda yarasa beyin hücrelerinde DNA kırıkları oluştuğunu belirtirken, Robison ve ark. da HL-60 ve HL-60R soylarında EMA'nın etkisi ile DNA tamir mekanizmasında azalma olduğunu belirtmişlerdir (Saygın M. ve diğ., 2011).

4.1. Merkezi Sinir Sistemi Üzerine Etkisi

Wi-Fi alanlarının merkezi sinir sistemi üzerindeki etkileri ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. RF ve UHF alanlarının, MSS aktivitesi üzerinde etkisini araştırmak üzere yapılan klinik ve laboratuvar çalışmalarındaki değişimler, EEG ile saptanmıştır ve uzun zaman periyotlarında yapılmıştır (Düzgün S., 2009).

Yapılan bir deneyde, 46 mW / cm² şiddetinde ve 100 MHz frekanslı dalgalı radyasyondan 2.77 W/kg enerji soğurulduğunda beyincikte yer alan Purkinje hücrelerinde telafi edilemez bir azalma olduğunu göstermektedir. Ama standart değerlere yakın şiddetteki radyasyonun, insan sinir sisteminde morfolojik bir değişmeye yol açmadığı düşünülmektedir (Lin J. C., 2011).

4.2. Üreme Sistemi Üzerine Etkileri

RF (Radyo frekansı) alanlarına göz ve sinir sisteminden başka genital organlarda duyarlıdır. Santimetrik dalga bölgesindeki yüksek alan yoğunluklarında farkedilebilir değişimler olmaktadır, bu başlıca etki üreme organları üzerinde olan sıcaklık etkisidir. Bu organlardaki sıcaklık artışı kadın ve erkek üreme organları üzerinde morfolojik değişmelere neden olmaktadır. Üreme organlarını besleyen kan damarlarının büzülmesi, yumurtalık ya da testislere direkt olarak zarar verebilir (Altun N., 2001).

RF'nin hamile kadınlarda düşük oranında artmasına sebep olmaktadır. Yapılan bir çalışmada hamilelik başlangıcında kısa dalga diyatermi tedavisi gören bir annenin fetüsünde embryopathy durumu olduğu bildirilmektedir (Düzgün S., 2009).

4.3. Dolaşım Sistemi Üzerine Etkileri

Yüksek yoğunluklu RF alanlarında, kan dolaşımında bozulma maruziyet süresi ve şiddetiyle orantılı olarak kan akışında artış, kan damarlarının genişlemesi ve kan basıncında değişme olmaktadır. Öncelikle kan basıncı hafifçe artar ve sonra düşer.

ABD' de yapılan bir çalışmada EMA'nın akut kalp krizi ile ilişkili olabileceği, ancak kronik kalp hastalıkları ile ilişkisinin olmadığı belirlenmiştir. Yeni yayınlanan bir makale de ise EMA'ya maruz kalan sağlık çalışanlarında baş dönmesi, bulantı, metalik tat, kan basıncı ve nabızda değişiklik olduğu saptanmıştır (Sarıkahya N. M., 2014).

4.4. Göz Üzerine Etkileri

Santimetre başına birkaç mW mertebeli yoğunlukta, kronik ışınma, insan gözünde opasite oluşturmaya (şeffaflığını yitirmeye) yeteceği konusunda Sovyet yazarlar uyarılmaktadır. Bu gibi kişilerde ilk belirti göz yorulması, göz yaşarması ve renkli ışığa karşı (mavi) duyarlılıkta azalmalar ortaya çıkmaktadır (Sarıkahya N. M., 2014).

Tavşanlar üzerinde yapılan bir deneyde 2450 MHz frekanslı bir radyasyon 30 dk uzun bir sürede gözde, lens içerisindeki sıcaklığı 41 dereceye çıkartmakta ve katarakta yol açmaktadır. Aynı koşullarda maymunlar üzerinde yapılan deneylerde ise katarakt gözlemlenmemiştir. Bu sebepten dolayı deney sonuçları baza alındığında insanlar üzerindeki riski bu şekilde tespit etmek doğru değildir (Coşkun Ö., 2011).

4.5. İşitme Üzerine Etkileri

RF radyasyonun insan sağlığı üzerine bilinen bir diğer etkisidir. İnsanlar yaşa ve bireysel farklılıklara bağlı olarak 16Hz ile 20kHz arasındaki şiddetli sesleri yeterince duyabilir. İlk defa 1947 yılında radar anteni yakınlarında birtakım sesler duyduğunu ifade eden bir kişinin akıl sağlığından şüphe edilmişti ancak daha sonra yapılan çalışmalar sonucunda, RF radyasyonunun kulakta fısıltı, çınlama ve vızıltı tarzında akustik sesler oluşturabileceğini göstermiştir (Yükseksöylemez M., 2005).

16 yetişkin ve 16 yenidoğan sıçan üzerinde bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırmada sıçanlar 2400 MHz frekansında yayın yapan WLAN sisteminden kaynaklanan elektromanyetik frekansa 40 gün 24 saat süre ile maruz bırakılmıştır ve bu durum sonucunda yenidoğan ve yetişkin sıçanların iç kulak ve işitmelerinde herhangi bir etki saptanmamıştır (Duru C., 2014).

4.6. Kanseri Etkileri

Kan hücreleri özellikle lökositlerin normalin üzerinde çoğalması ile kendini gösteren çocukluk çağı kanseri yani lösemiler üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Maruziyet seviyesine göre yapılan çalışmalarda, $0,4\mu T$ 'nin altındaki çocukluk çağı lösemiler arasında yeterli kanıt bulunmamasına karşın, $0,4\mu T$ ve üzerindeki maruziyetlerde çocukluk çağı lösemi riskinin 2 kat arttığı saptanmıştır (Türkkan A., Pala K., 2009).

4.7. Beyin Üzerine Etkileri

Son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar, cep telefonu kullanımının beyinde elektriksel aktiviteleri değiştirdiğini göstermektedir. RF, beyin üzerindeki etkileri elektroensefalografi (EEG) ölçümleri ile tespit edilebilmektedir.

Yeterli oksijenin alınmaması yani anoksi, ödem, tansiyon ve iyonize radyasyon gibi birçok sebepten dolayı bu bariyerin değişir. RF enerji ise, kandaki sıcaklığı yükselttiğinden dolayı kan beyin bariyeri geçirgenliği yükselir. Yapılan bir çalışmada $1Mw/cm^2$ şiddetinde, 1000 MHz frekanslı bir radyasyona 20 dakikalık maruziyetin sonucunda beyin dokusuna Ca^{+2} bağlanmasını değiştirdiği gözlemlenmiştir (Coşkun Ö., 2011).

4.8. Testisler Üzerine Etkileri

Fahim ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda testiküler sıcaklığın 15 dk için 45 °C' ye, 5 dk için 65 °C' ye yükseldiği şiddette 2,45 GHz mikrodalga radyasyonunu farelere uygulamıştır. Her iki deneyde de en az 10 ay infertiliteye sebep olduğunu göstermişlerdir. Saunders ve Kowalczyk fare testisi üzerine 2,45 GHz akut uzak alan mikrodalga deneyinin etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada CH3 fındık faresine bir oda içerisinde 2450 MHz mikrodalga uygulaması yapılmış ve kantitatif olarak X ışınımında duyarlı hücrelerde veya sperm miktarında anlamlı etkiler görmemişlerdir (Saygın M. ve diğ., 2011).

4.9. Hormonlar Üzerine Etkileri

Saygın ve arkadaşları yapmış olduğu bir çalışmada sıçanları 4 hafta boyunca 60 dk 3,21 W/kg gücünde 2,45 GHz dalga frekansında elektromanyetik alana maruz bırakmışlardır ve Hematoksilin-Eozin ile boyanan testis dokularını incelediklerinde kontrol grubuna ait testis dokularının normal yapıda olduklarını gözlemlemişlerdir.

Navakatikian ve arkadaşları düşük yoğunluktaki elektromanyetik alan tarafından testosteron ve insülin sekresyonunununinhibe olduğunu, Marha ve ark. spermatogenezde azalma, doğumların cinsiyet oranında değişme, fetal gelişimde gecikme ve emziren annelerin laktasonunda azalma olduğunu saptamışlardır (Saygın M. ve diğ., 2011).

5. WI-FI MODEMLERDE KULLANILAN ANTENLER

Bu bölümde Wi-Fi radyasyonun kaynağı olan ve ADSL modemlerde kullanılan, dolayısıyla tezimize konu olan Dikey Kutuplu ve Çok Yönlü anten modeli göz önüne alınacaktır. Önce matematiksel modeli kurulacak ve Matlab® programı kullanılarak simüle edilecek (benzetimi yapılacaktır).

ADSL modem antenleri, genel özellikleri hakkında bilgiler yer almaktadır.

5.1. Anten Nedir?

Anten; iletim hattından gelen elektrik sinyalini ortama elektromanyetik dalga olarak gönderen (verici anten) ya da ortamdaki elektromanyetik dalgaları toplayarak elektrik sinyallerine çeviren (alıcı anten) elektromekanik yapılardır.

İletim esnasında verici antene uygulanan alternatif akım, antenden dışarıya doğru salınım yapan elektrik ve manyetik alan oluşturur. Alıcı antene gelen salınımlı elektrik ve manyetik alanlar da anten üzerindeki elektronları harekete geçirerek bir alternatif akım oluşturur.

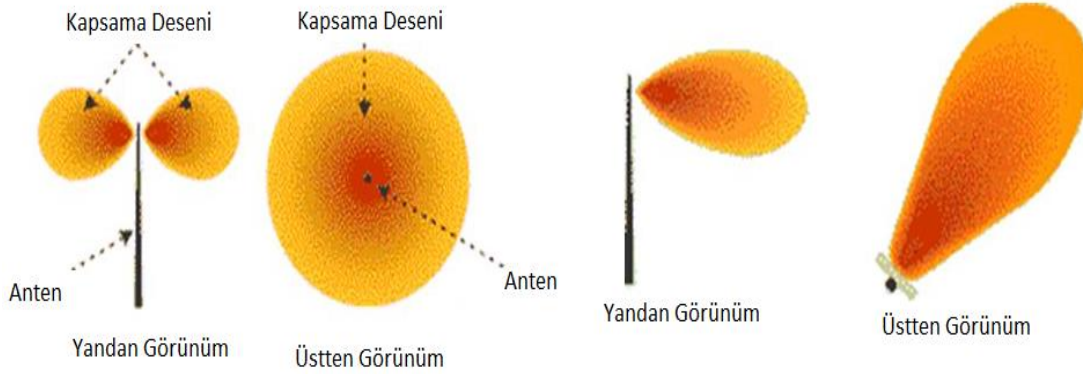
Anten modeli (pattern); uzay koordinatları fonksiyonu olarak grafiksel gösterim olarak tanımlanır. Belli bir uzaklıktaki alınan güç, güç modeli ve belli bir uzaklıktaki elektriksel ve manyetik uzaysal varyasyon ise alan modelidir.

İzotropik anten, tüm doğrultularda eşit radyasyon değerine sahip kuramsal anlamda kayıpsız antendir. İzotropik anten farazidir ve gerçekte yoktur.

Yönlü anten, elektromanyetik dalgaları belli bir yönde diğer yönler göre daha şiddetli yayan veya alan anten olarak nitelendirilir.

Çok yönlü anten, bir düzlemde yönlü olmayan, dipol (iki kutuplu) (dolayısıyla anten eksenine) dik eksenlerde uniform güç dağılımına sahip antendir.

Şekil 5.1.1'de yönlü (sağda) ve yönsüz (solda) antenlerin yandan ve üstten görünüşleri gösterilmiştir:

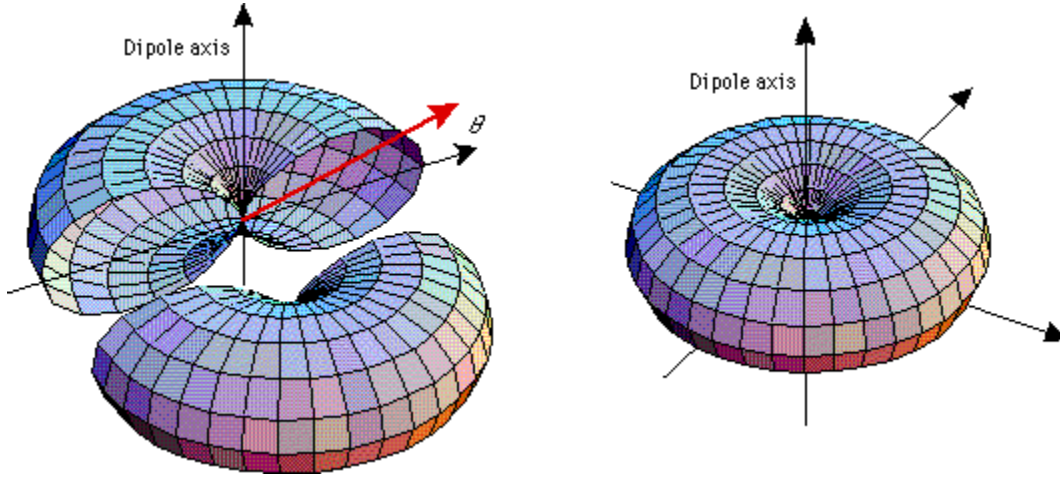


Şekil 5.1.1 : Çok yönlü ve yönlü anten ışınım modeli
Kaynak : Url-6

Wi-Fi modemler üzerlerinde verici anten bulundurur. Çoğu vertically polarised, omnidirectional (dikey polarizeli, çok yönlü) antenlerdir.

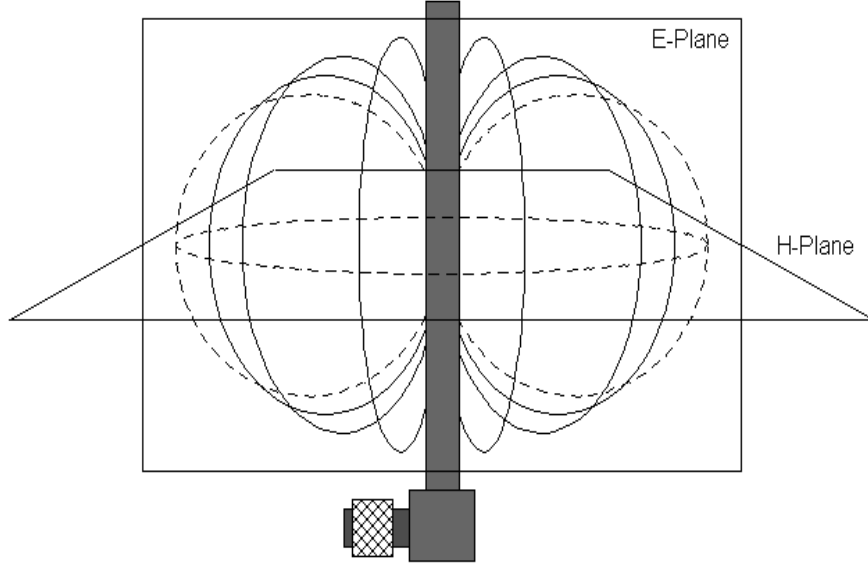
Bu sayede modemin radyasyon (ışınım) etkisi en fazla modemin yükseklik düzeyinde ve yatayda da her yöne eşit olarak sağlanır.

Bu antenlerin ışınım şekli üç boyutlu olarak aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:



Şekil 5.1.2 : Dikey kutuplu çok yönlü anten ışınım modeli
Kaynak : Url-7

Wi-Fi modemlerindeki antenin ışınmasına ait yandan görünüm Şekil 5.1.3'teki gibidir.



Şekil 5.1.3 : Dikey kutuplu çok yönlü antende (modem antenlerindeki) elektrik alan ve manyetik alan düzlemleri

Kaynak : Url-8

Buradaki koyu renkli kısım antendir. Elektrik alan, anten düzlemine dik olduğu için dikey kutuplu anten olarak isimlendirilir.

Şimdi bu teorisini oluşturduğumuz Wi-Fi verici anten modelinin MATLAB® ile Wi-Fi verici antenlerinin radyasyon modelinin (pattern) benzetimine yer verelim.

5.2. Matlab® Uygulaması

Wi-Fi antenlerin 3 boyutlu ışına modelini matematiksel olarak ortaya koymak için küresel koordinatlardan yararlanılabilir.

Bilindiği üzere küresel koordinatlardan kartezyen koordinatlara geçiş yapılırsa;

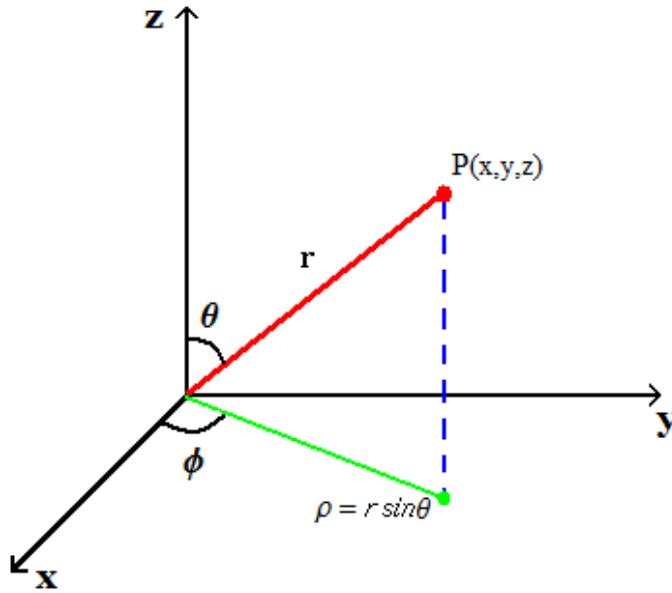
$$x = r \sin \theta \cos \varphi$$

$$y = r \sin \theta \sin \varphi$$

ve

$$z = r \cos \theta$$

dir.



Şekil 5.2.1 : Küresel koordinat elemanları

Dipol antene ait 3 boyutlu radyasyon (ışınma/yayılım) modelinin Matlab® da kodlanması aşağıda verilmiştir (Url-9).

>> % 0 ile 2π arasında θ (theta) ve φ (phi) açısı için eşit aralıklarla 1000 tane değer alınır:

```
theta=linspace(0,pi,1000);
```

```
phi=linspace(0,2*pi,1000);
```

```
[theta, phi]=meshgrid(theta,phi);
```

```
r=(sin(theta)).^5;
```

```
% küresel koordinatlardan kartezyen koordinatlara dönüşüm:
```

```
x=r.*(sin(theta)).*cos(phi);
```

```
y=r.*(sin(theta)).*sin(phi);
```

```
z=r.*cos(theta);
```

```
figure(1);
```

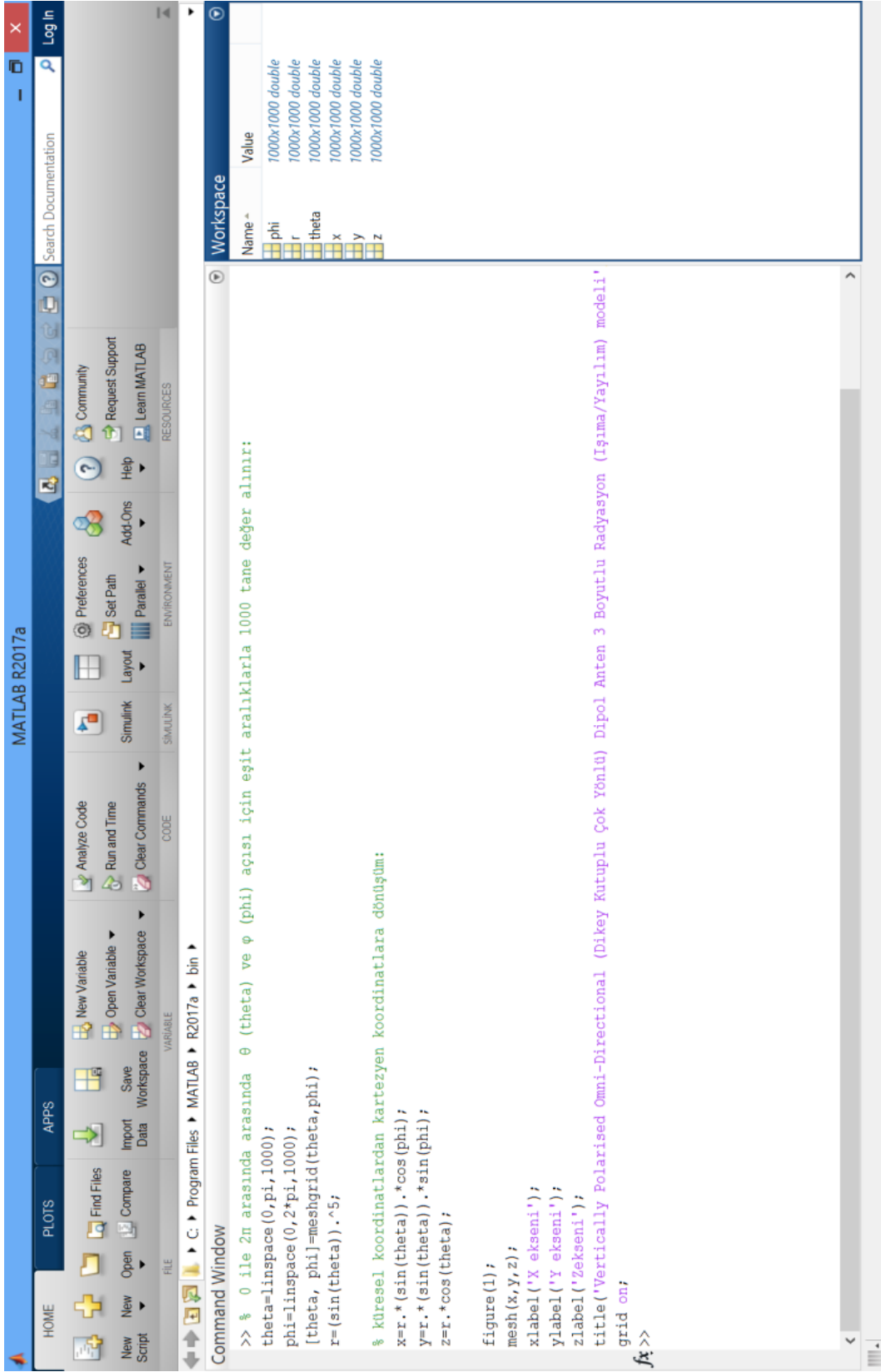
```
mesh(x,y,z);
```

```
xlabel('X eksen');
```

```
ylabel('Y eksen');
```

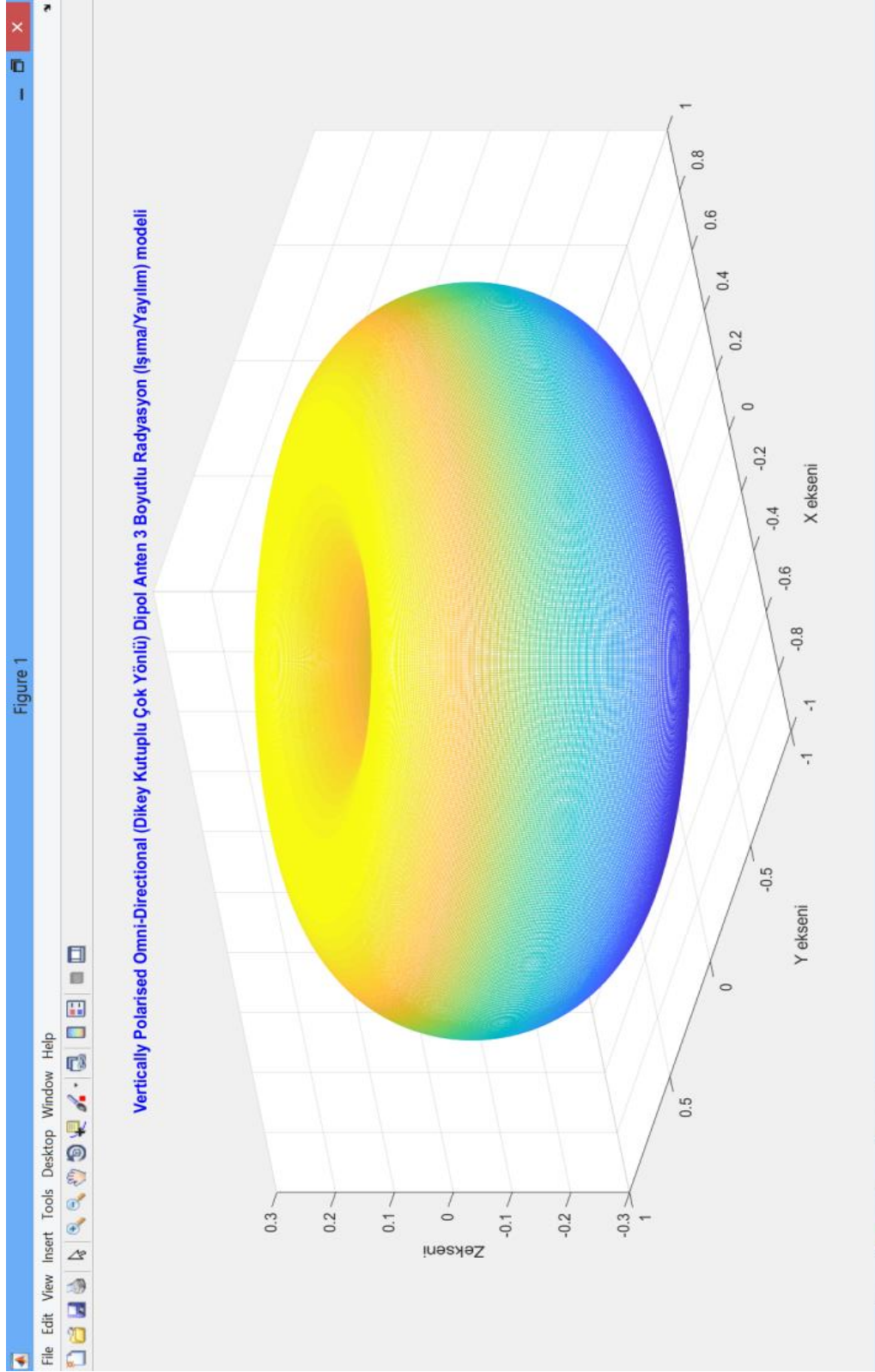
```
zlabel('Z eksen');
```

```
title('Vertically Polarised Omni-Directional (Dikey Kutuplu Çok Yönlü) Dipol Anten  
3 Boyutlu Radyasyon (Işınma/Yayılım) modeli','color','b'); grid on;
```



Şekil 5.2.2 : Dipol anten 3 boyutlu radyasyon modeli kodlamasının Matlab® ekranı

Kaynak : Url-9



Şekil 5.2.3 : Wi-Fi modemlerde kullanılan dikey kutuplu çok yönlü antenlerin 3 boyutlu Matlab® uygulaması (ışınma modeli)

Kaynak : Url-9

Buradan görölüyor ki; modemlerin etkilenme doğrultusu düşeyde modemin yükseklik hizasında maksimum olmaktadır.

Wi-Fi antenin yandan kesitini alacak olursak 2 boyutlu ışınma eğrisi ortaya çıkar. Bu tip antenlerin matematiksel modeli, "lemniskat" adı verilen ve eğrisi kutupsal koordinatlarla belirtilen $r = \cos^n \varphi$ şeklindeki denklemlerle çizilir. "n" tek pozitif sayıdır.

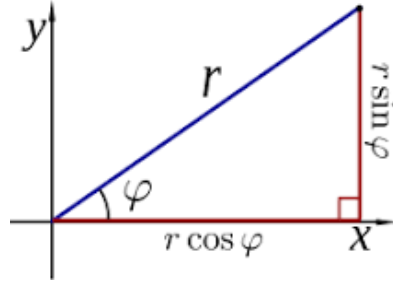
Bilindiği üzere kutupsal koordinatlardan kartezyen koordinatlara geçiş yapılırsa;

$$y = r \sin \varphi$$

ve

$$x = r \cos \varphi$$

dir.

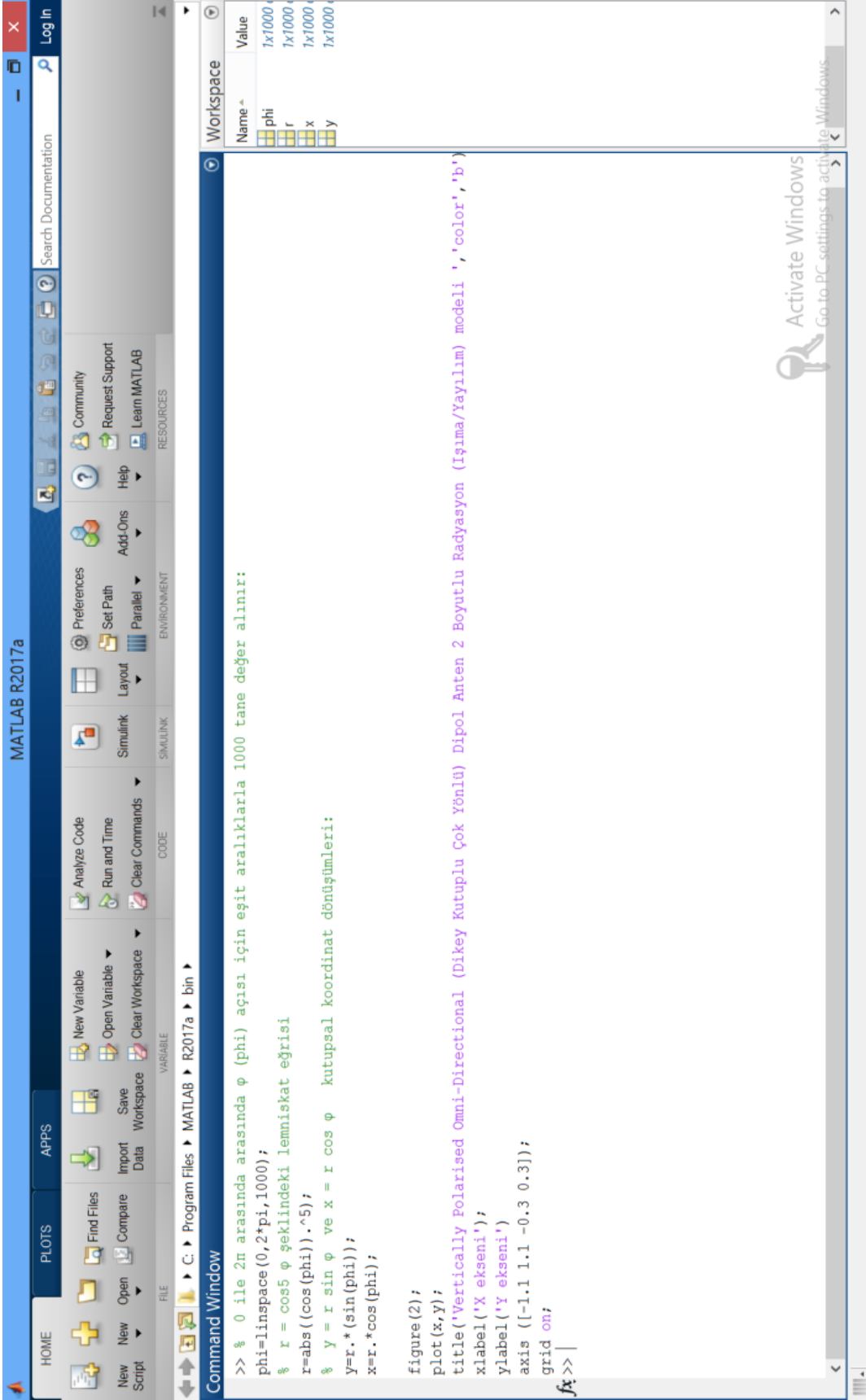


Şekil 5.2.4 : Kutupsal koordinat elemanları

Dipol antene ait 2 boyutlu radyasyon (ışınma/yayılım) modelinin MATLAB®'da kodlanması aşağıda verilmiştir (Url-9).

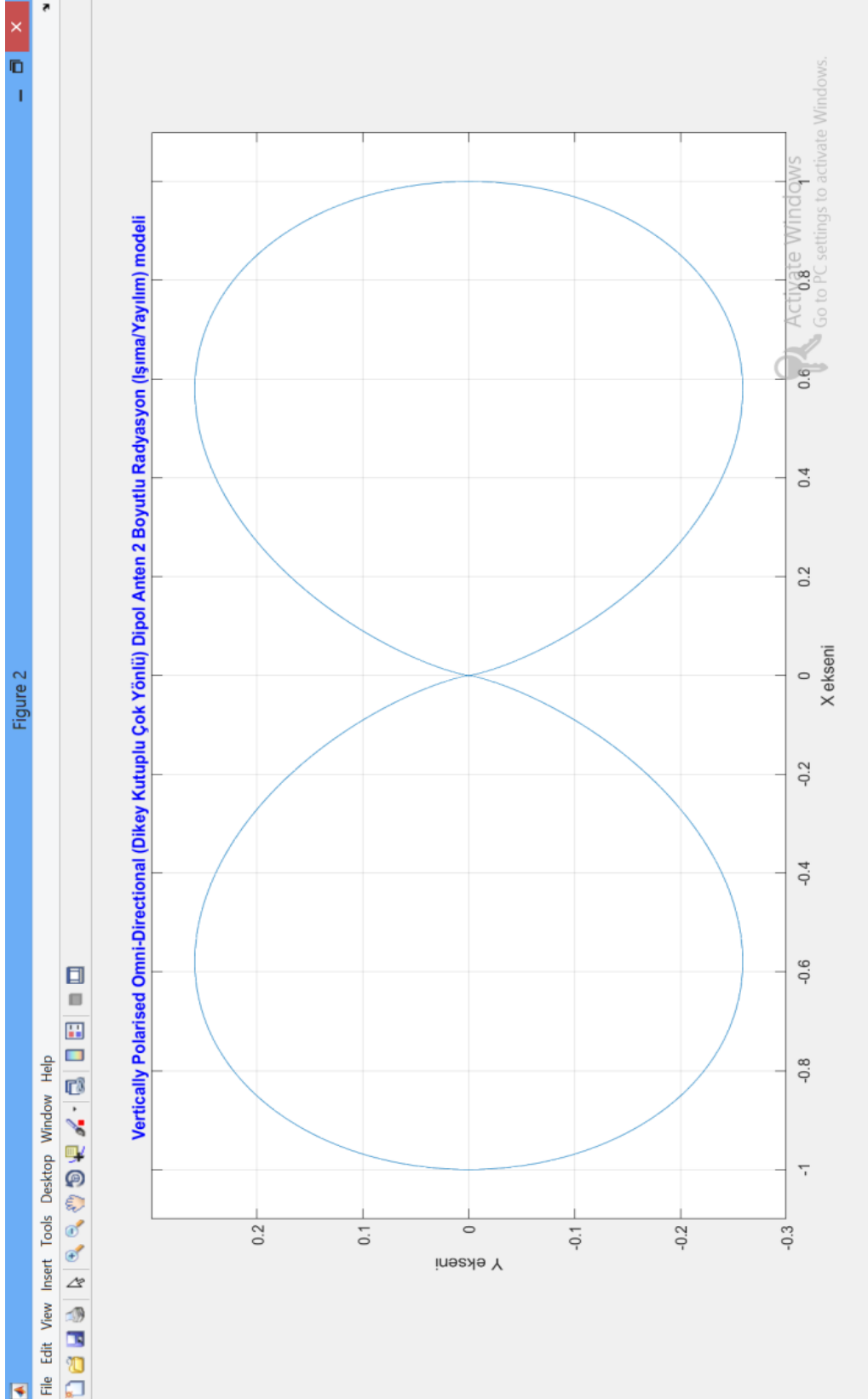
```
>> % 0 ile 2π arasında φ (phi) açısı için eşit aralıklarla 1000 tane değer alınır:  
  
phi=linspace(0,2*pi,1000);  
  
% r = cos5 φ şeklindeki lemniskat eğrisi  
  
r=abs((cos(phi)).^5);  
  
% y = r sin φ ve x = r cos φ kutupsal koordinat dönüşümleri:  
  
y=r.*(sin(phi));  
  
x=r.*cos(phi);  
  
figure(2);  
  
plot(x,y);  
  
title('Vertically Polarised Omni-Directional (Dikey Kutuplu Çok Yönlü) Dipol  
Anten 2 Boyutlu Radyasyon (Işınma/Yayılım) modeli ','color','b');  
  
xlabel('X eksen');  
  
ylabel('Y eksen')  
  
axis ([-1.1 1.1 -0.3 0.3]);  
  
grid on;
```

Matlab® ekran görüntüsü ve çizimi ise sırasıyla Şekil 5.2.5 ve Şekil 5.2.6'da verilmiştir.



Şekil 5.2.5 : Dipol anten 2 boyutlu radyasyon modeli kodlamasının Matlab® ekranı

Kaynak : Url-9



Şekil 5.2.6 : Wi-Fi modemlerde kullanılan Dikey Kutuplu Çok Yönlü Antenlerin 2 boyutlu MATLAB® uygulaması (ışırma modeli)
Kaynak : Url-9

Buradan görülür ki modemlerin yaydığı dalgaların şiddetinin en yoğun ve şiddetli olduğu lokasyonlar, modeme ekvatorial düzlemdeki alanlardır. Wi-Fi alanlarında vericilerin ne zemin ne de tavan seviyelerine yakın yerlere konumlandırılır. Tezdeki ölçümler ve simülasyon modem seviyesinden yapıldı.

6. ÖLÇÜMLER VE BULGULAR

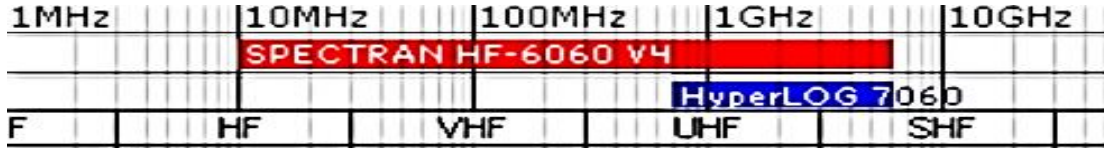
Bu bölümde, önceki bölümlerde teorik altyapısı sağlanan elektrik ve manyetik alanlara ilişkin tezin konusunu oluşturan Wi-Fi modemden ölçümler alınmış olup sonuçlar için spektrumlar oluşturulmuş ve sınır değerlere olan yakınlığına değinildi. Ölçüm alınan cihazın ölçüm aralığı 10MHz — 6GHz, ölçümlerde kullanılan yönlü antenin ölçüm aralığı 700MHz — 6GHz olup, cihazla Wi-Fi frekanslarında (2400MHz — 2500Mhz) ölçümler alındı. Diğer elektronik cihazlardan ve radyasyonlardan etkilenmesini önlemek için ölçüm aralığı sadece Wi-Fi frekanslarına çekilmiştir.

6.1. Aaronia® Spectran® Hf-6060 V4 Spectrum Analyser & Aaronia® Hyperlog® 7060 Log Periyodik Genişbant Yagi Anten

Elektromanyetik radyasyon ölçüm cihazları gerek mesleği gereği radyasyonun etkisinde kalan kişilerce, gerekse kişisel güvenlik için herkes tarafından kullanılabilir. Kısaca bu tür cihazlardan biri olan ve tezimizde kullandığımız Elektromanyetik Radyasyon Ölçüm Cihazımızın ve Anteninin genel görünümü, frekans aralığı, LCD ekranı ve teknik özellikleri Şekil 6.1.1, Şekil 6.1.2 ve Çizelge 6.1.1’de gösterilmiştir.




Şekil 6.1.1 : Aronia® Spectran® HF-6060 V4 Spectrum Analyser & Aronia® HyperLOG® 7060 Log periyodik genişbant yagi anten
Kaynak : Url-10



Şekil 6.1.2 : Aronia® Spectran® HF-6060 V4 Spectrum Analyser & Aronia® HyperLOG® 7060 Log periyodik genişbant yagi anten'e ait Frekans Spektrumları
Kaynak : Url-10

6.1.1. LCD Display

Ölçümlerde kullandığımız cihazın ekranı Şekil 6.1.1’de orijinal İngilizce açıklamaları ile birlikte verilmiştir.



The image shows the LCD screen of the Aaronia HF-6060 V4 Spectrum Analyser. The screen displays a bargraph at the top, a mode-status field, an info-display showing a frequency range of 551000, a main display showing a signal level of -45 dBm, a marker-block showing two frequency markers at 930 MHz and 950 MHz, and a graphic-display showing a spectrum plot. Red arrows point from the text descriptions on the right to the corresponding elements on the screen.

Bargraph (Trend-display)	Depending on signal strength, the half-circle will grow or shrink. A handy feature for visualizing quickly changing levels. Even handy: If the broadband detector is installed, the bargraph will always show the level measured by the broadband detector.
Mode-status field (Peak & Hold)	Shows the currently active detector: No display = RMS activated PEAK = Min/Max-Detector activated HOLD = Hold-Modus activated
Info-display	Shows the selected preset (frequency range). Using the keys 0-9, further presets (UMTS, DECT, etc.) are available.
Display-Mode status field	Shows the current operation mode. Possible modes are: Spectrum (spectrum analysis), Expos.-Limits (exposure limit calculation), AM/FM (audio output) and RF (power meter, Option 20x).
Main display	Displays the level (signal strength) of the strongest signal in dBm.
Marker-block (1 – 3)	Show frequency and signal strength of the strongest signals. Up to 3 markers can be displayed simultaneously.
Graphic-Display (here: Spectrum - display)	This flexible display field can display a great variety of information, both text and graphics (spectrum, exposure limits, menu text etc.)

Şekil 6.1.1.1 : Aaronia® Spectran® HF-6060 V4 Spectrum Analyser LCD Ekranı
Kaynak : Url-10

6.1.2. Teknik Özellikler

Çizelge 6.1.2.1 : Cihazın teknik özellikleri

Kaynak : Url-10

Birim	W/m ² , dBm (Güç Yoğunluğu)	V/m, dBµV (Elektrik Alan)	A/m (Manyetik Alan)
Doğruluk		+/- 2 dB	
RF girişindeki maksimum güç		- 20 dB	
Frekans Range (Ölçebildiği Aralık)	Spectran® HF-6060 V4 Spectrum Analyser		10MHz - 6GHz
	HyperLOG® 7060 Anten		700MHz - 6GHz
Örnekleme Süresi		10 milisaniye	
Dedektör		RMS / MinMax	
Çalışma Voltajı		12V	
Ağırlık		430g	

6.2. Elektromanyetik Radyasyon Ölçümleri

Bu bölümde tezin konusu olan dikey kutuplu çok yönlü verici antenler kullanan tipik bir ADSL modemden kablosuz internet (Wi-Fi) iletişimi ve veri aktarımı sağlanırken aynı yükseklikte test cihazımızla ölçümler alınıp bunların ortalamaları kaydedilmiştir.

Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (**IEEE**) ve Uluslararası Non-İyonize Radyasyondan Korunma Komitesi (**ICNIRP**) 'nin ortaya koyduğu, tüm Avrupa'da ve pek çok ülkede kabul gören sınır değerleri tezimizde esas alınmıştır. Bu sınır değerleri S (Güç Yoğunluğu) için $10\text{W/m}^2 = 10^7\mu\text{W/m}^2$, E (Elektrik Alan) için **61.4V/m** ve H (Manyetik Alan) için $0.16\text{A/m} = 160\text{mA/m}$ olup tezin 23. sayfasında (3.2. Özgül Soğurma Oranı (SAR) bölümünde) bu sınır değerlerine değinilmiştir.

Ortalama bir ofis yada konuta ait odanın alanı 4m^2 ve bu alanı oluşturan uzunlukları da 2'şer metre olduğu varsayıldı. Aynı ortamdaki (odadaki) Wi-Fi ile modemle veri iletişimi sağlayan bir ve iki cihazla yakın uzaklık 2 metre ve uzak mesafe de 4 metre varsayılarak; E (Elektrik Alan), H (Manyetik Alan) ve S (Güç Yoğunluğu) ölçümleri alınmıştır.

Ölçüm senaryoları Çizelge 6.2.1'de gösterildiği gibidir: 3 adet nicelik (S, E ve H), 2 adet modemle kablosuz veri transferi hâlindeki (Wi-Fi kullanan) cihaz ve 2 adet farklı konum göz önüne alındı. Toplam 4 senaryo ve 12 ölçüm şeklindedir. Bunlar sırasıyla şekillere aktarılarak birbirleriyle ve sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.2.1 : Elektromanyetik radyasyon ölçümleri

Ölçüm Sırası	Ölçülen Nicelik	Birim	Ölçekleme	Modemle Veri Transferi Hâlindeki Cihaz Sayısı	Ölçüm Alınan Konumun Modeme Olan Uzaklığı
1.	S	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	15	1	4
2.	E	V/m	1	1	4
3.	H	mA/m	1	1	4
4.	S	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	60	1	2
5.	E	V/m	1	1	2
6.	H	mA/m	1	1	2
7.	S	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	30	2	4
8.	E	V/m	1	2	4
9.	H	mA/m	1	2	4
10.	S	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	600	2	2
11.	E	V/m	1	2	2
12.	H	mA/m	2	2	2

Şekilleri birbirleriyle ve sınır değerleriyle kolayca karşılaştırabilmemiz açısından S için $\mu\text{W}/\text{m}^2$, E için V/m ve H için mA/m birim skalaları kullanılmıştır. Bir diğer husus ise ölçüm yapılan modemimizin bulunduğu kanal, 10. Wi-Fi kanalı olup frekansları 2447MHz ile 2467MHz arasındadır. Yani ölçümlerimizde bu değerler arasında pikler (tepe noktaları) oluşacaktır.

Sırasıyla ölçümlere bakacak olursak;

1. ölçümde; 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğunun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.1’de gösterilmiştir. Beklendiği üzere 2460MHz civarında yüksek değer ölçülmüş.



Şekil 6.2.1 : 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğu’nun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.1’den görüleceği üzere, güç yoğunluğunun tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Güç Yoğunluğu, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri $10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ’nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $10/10^7 = 10^{-6}$ (milyonda bir) düzeyindedir.

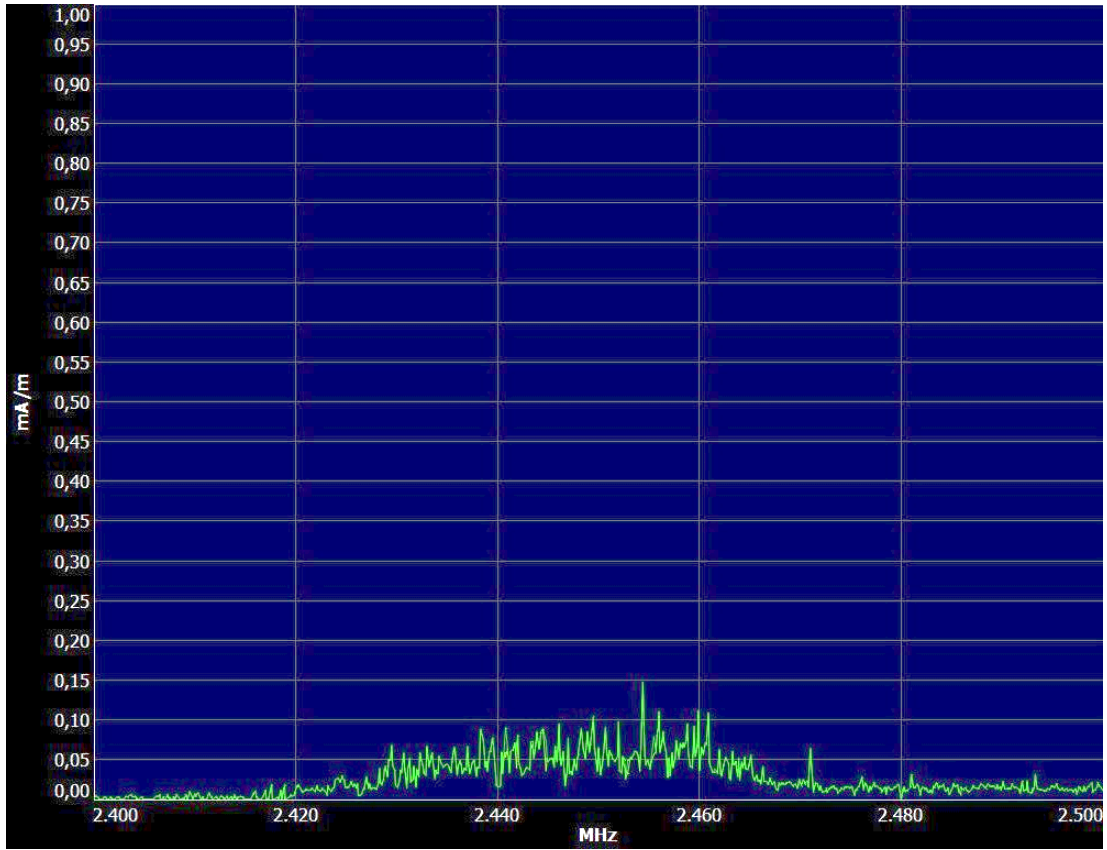
2. ölçümde; 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alanın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2.2 : 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.2'den görüleceği üzere, elektrik alanın tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Elektrik Alan, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri **61.4V/m**'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $0.15 / 61.4 \approx \% 0.25$ düzeyindedir.

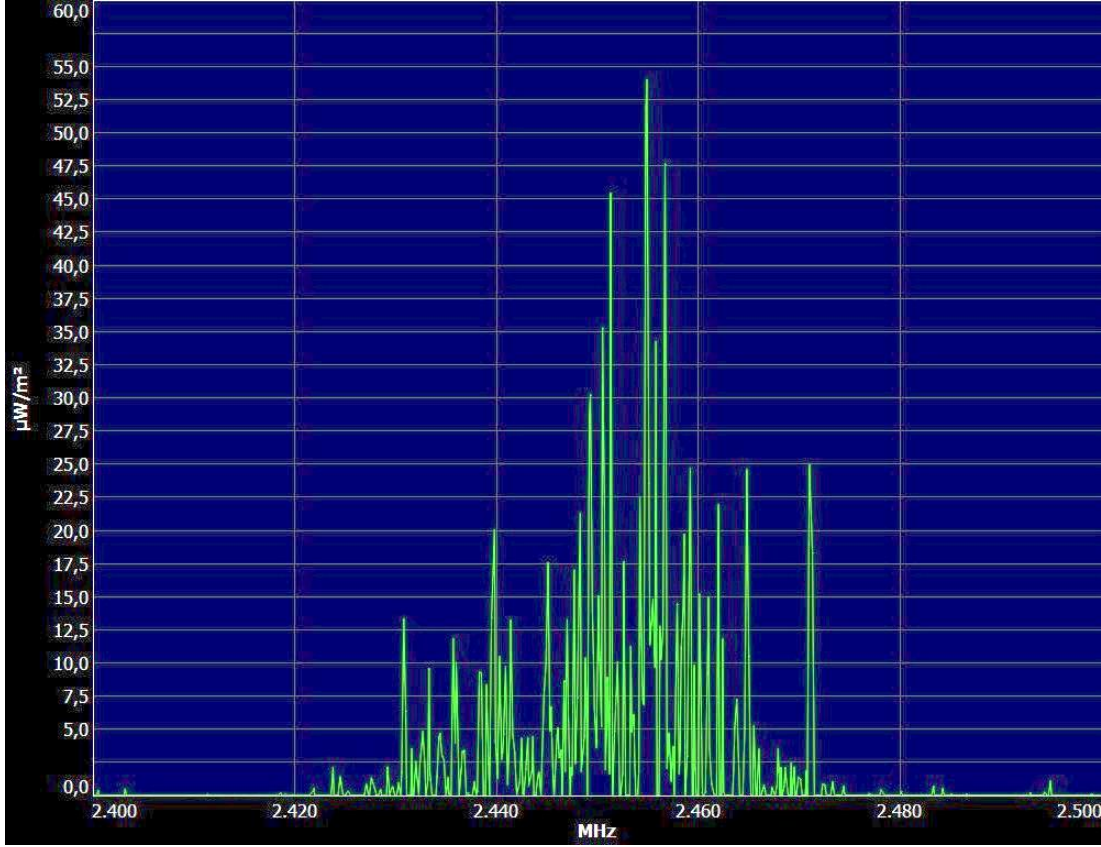
3. ölçümde; 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alanın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.2.3 : 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.3'ten görüleceği üzere, manyetik alanın tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Manyetik Alan, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri **160mA/m**'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $0,15 / 160 \approx \% 0,09$ düzeyindedir.

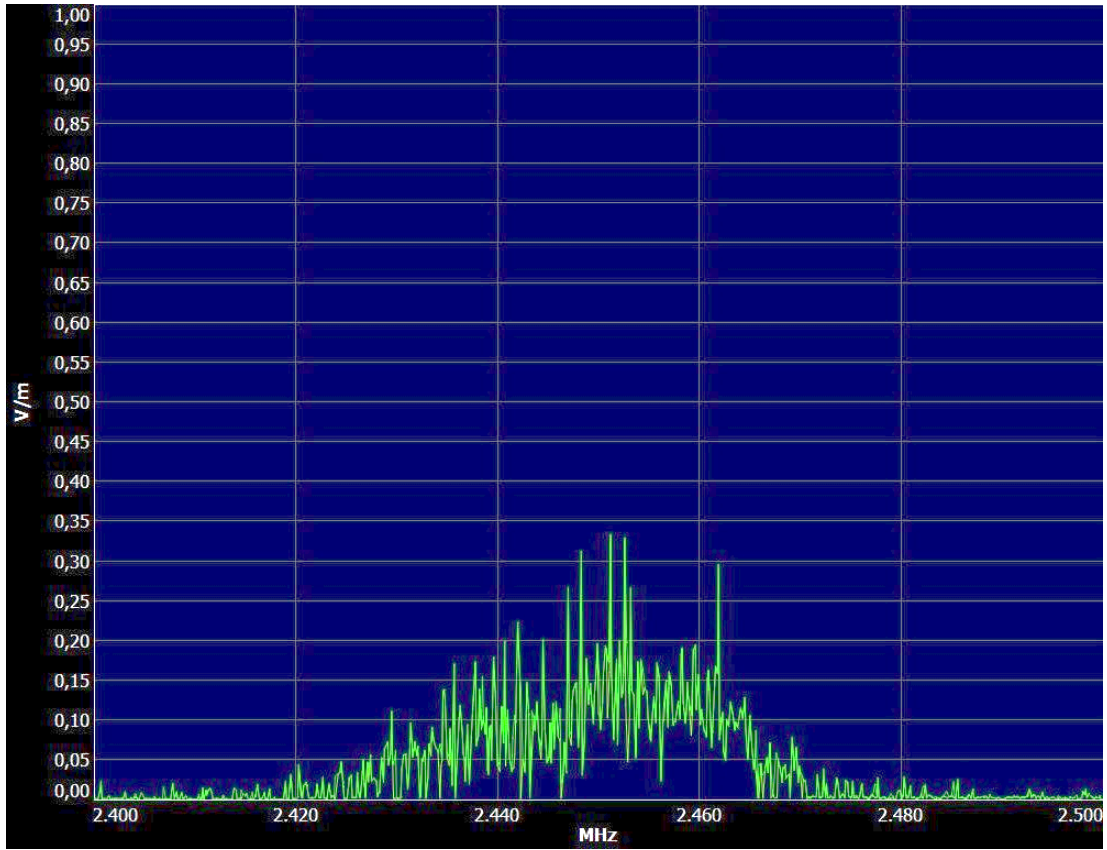
4. ölçümde; 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğunun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.2.4 : 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğu'nun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.4'ten görüleceği üzere, güç yoğunluğunun tepe değerleri modem bulduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Güç Yoğunluğu, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri $10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$ 'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $55 / 10^7 \approx 5 \times 10^{-6}$ (milyonda beş) düzeyindedir.

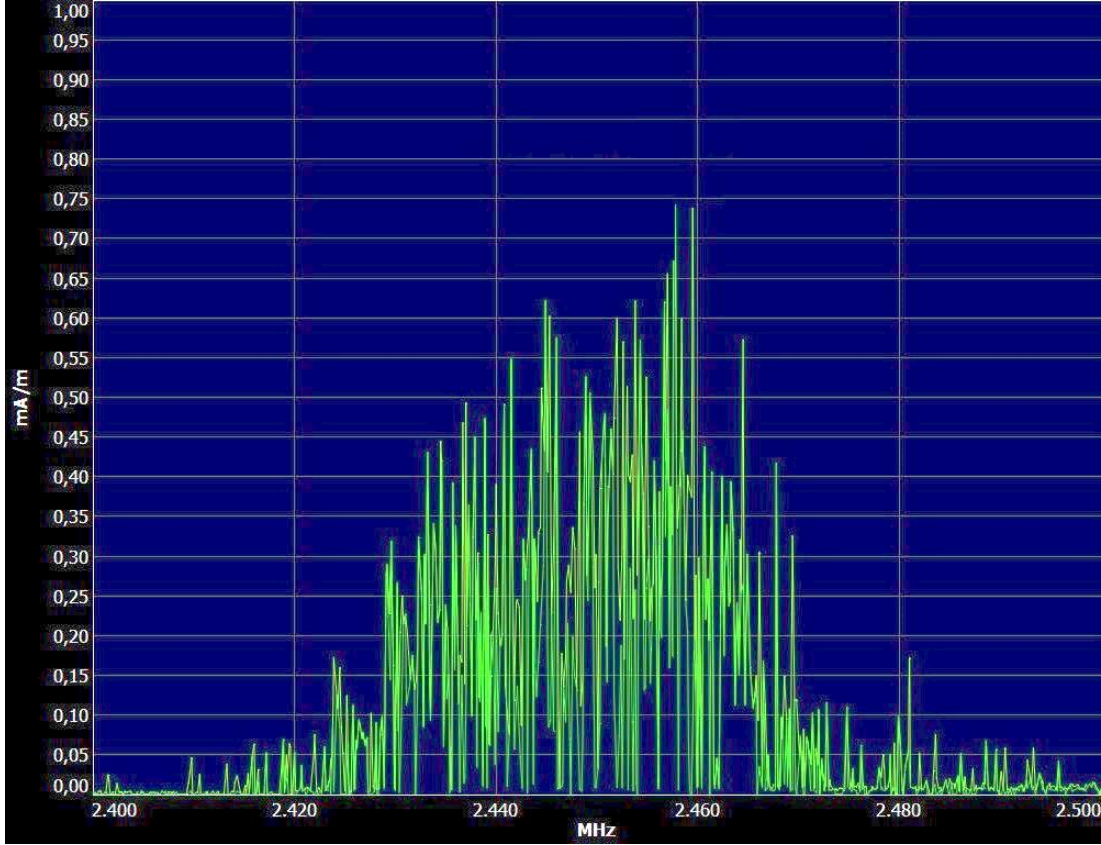
5. ölçümde; 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alanın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6.2.5 : 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.5'ten görüleceği üzere, elektrik alanının tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Elektrik Alan, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri **61.4V/m**'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $0.35 / 61.4 \approx \% 0.57$ düzeyindedir.

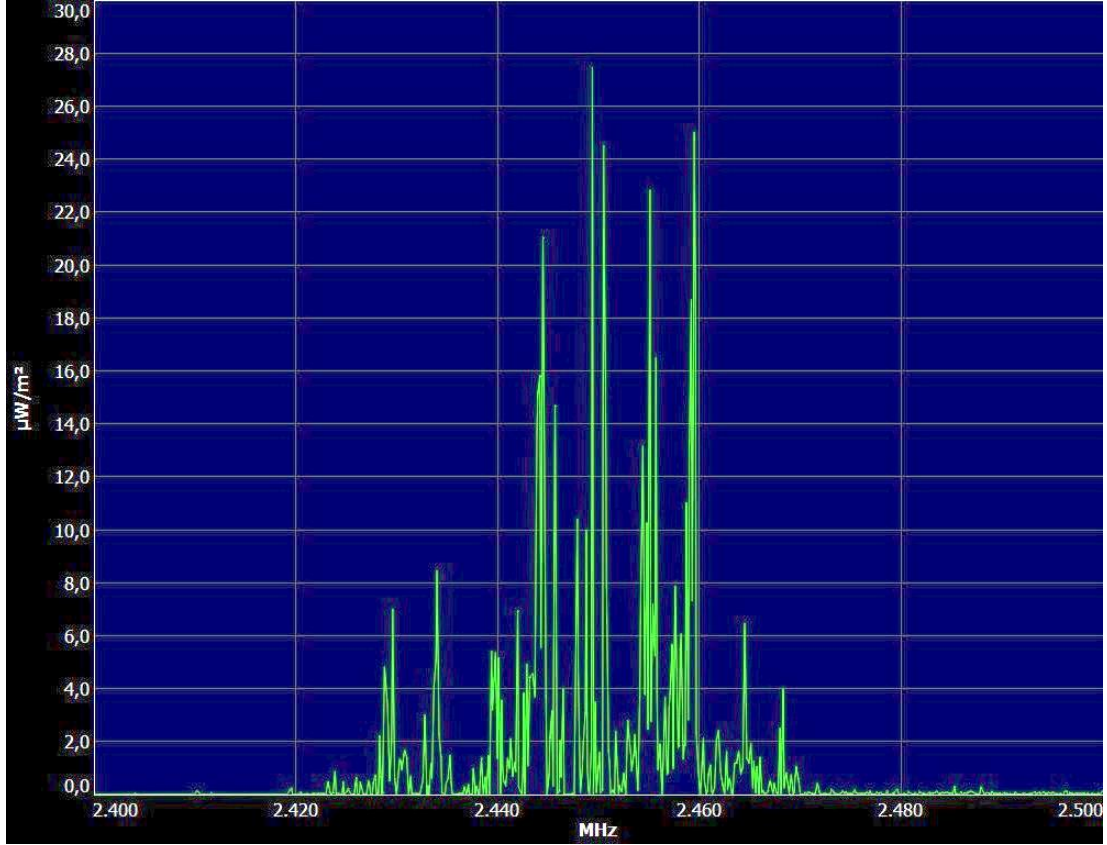
6. ölçümde; 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alanın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.2.6 : 1 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.6'dan görüleceği üzere, manyetik alanın tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Manyetik Alan, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri **160mA/m**'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $0,75 / 160 \approx \% 0,45$ düzeyindedir.

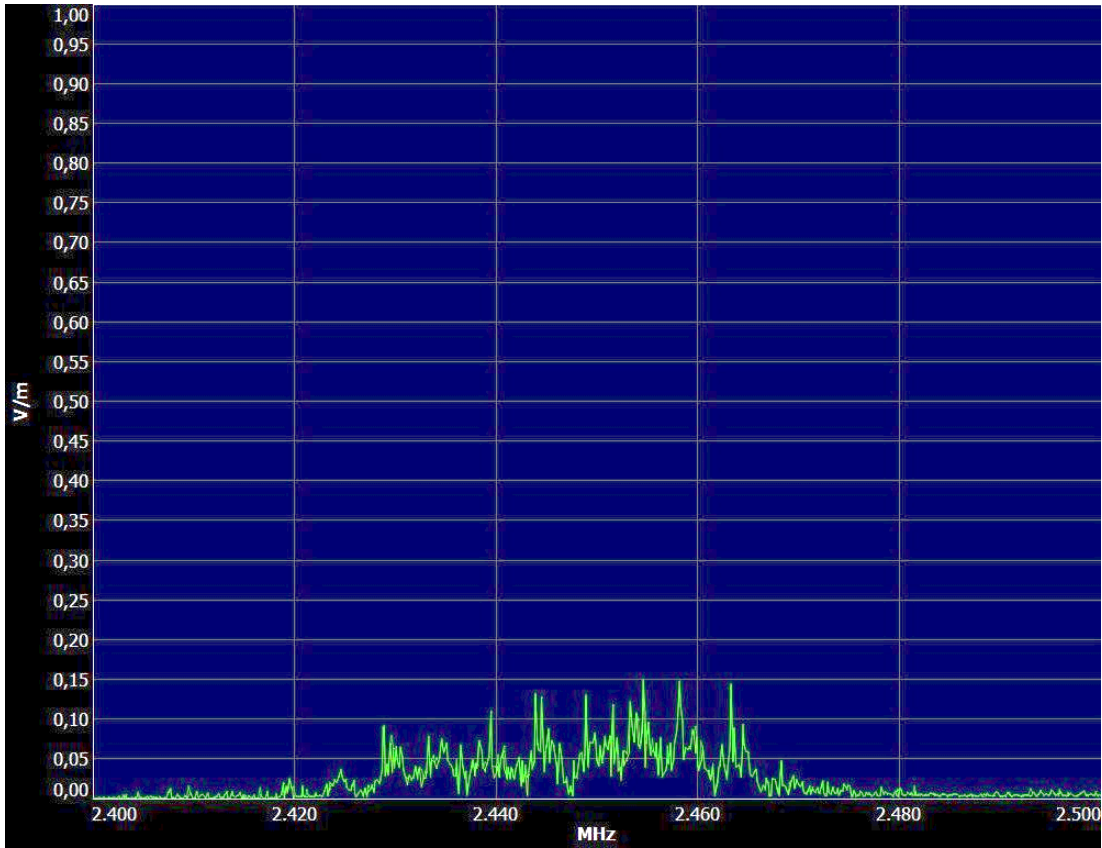
7. ölçümde; 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğunun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2.7 : 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğu'nun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.7'den görüleceği üzere, güç yoğunluğunun tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Güç Yoğunluğu, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri $10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$ 'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $30 / 10^7 = 3 \times 10^{-6}$ (milyonda üç) düzeyindedir.

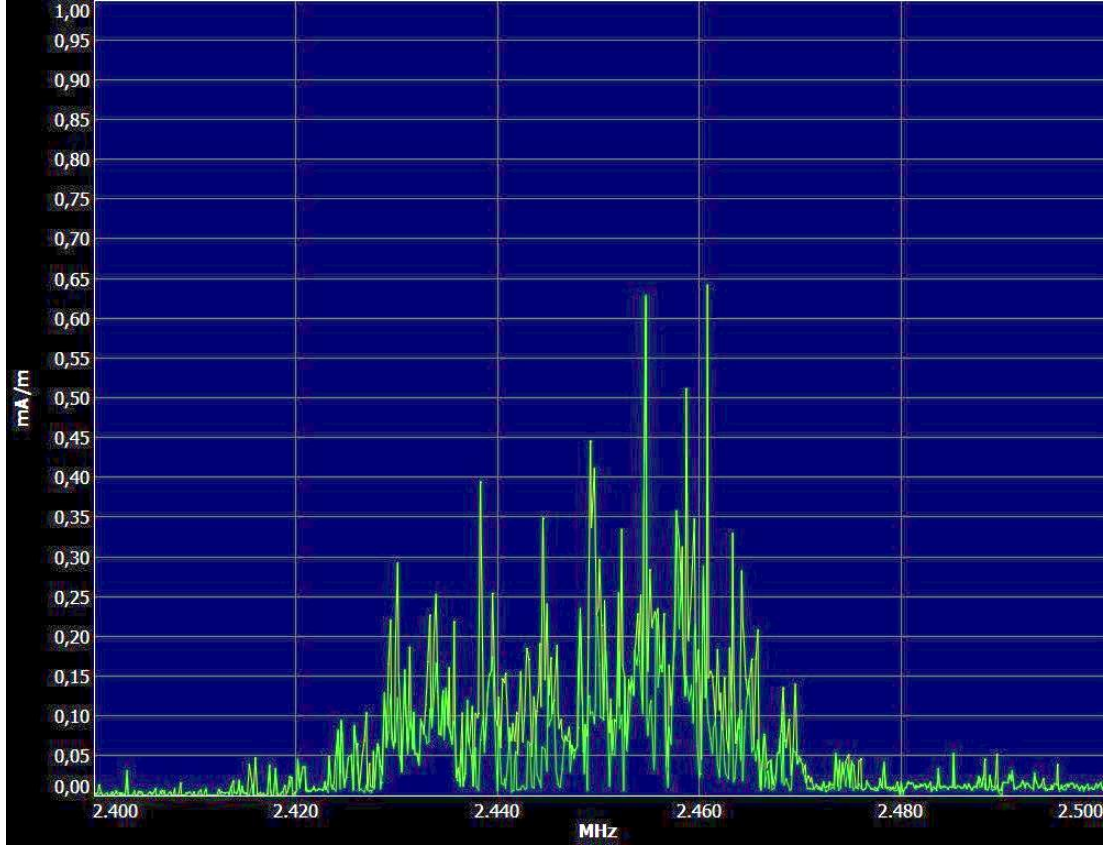
8. ölçümde; 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alanın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2.8 : 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.8'den görüleceği üzere, elektrik alanın tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Elektrik Alan, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri **61.4V/m**'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $0.15 / 61.4 \approx \% 0.24$ düzeyindedir.

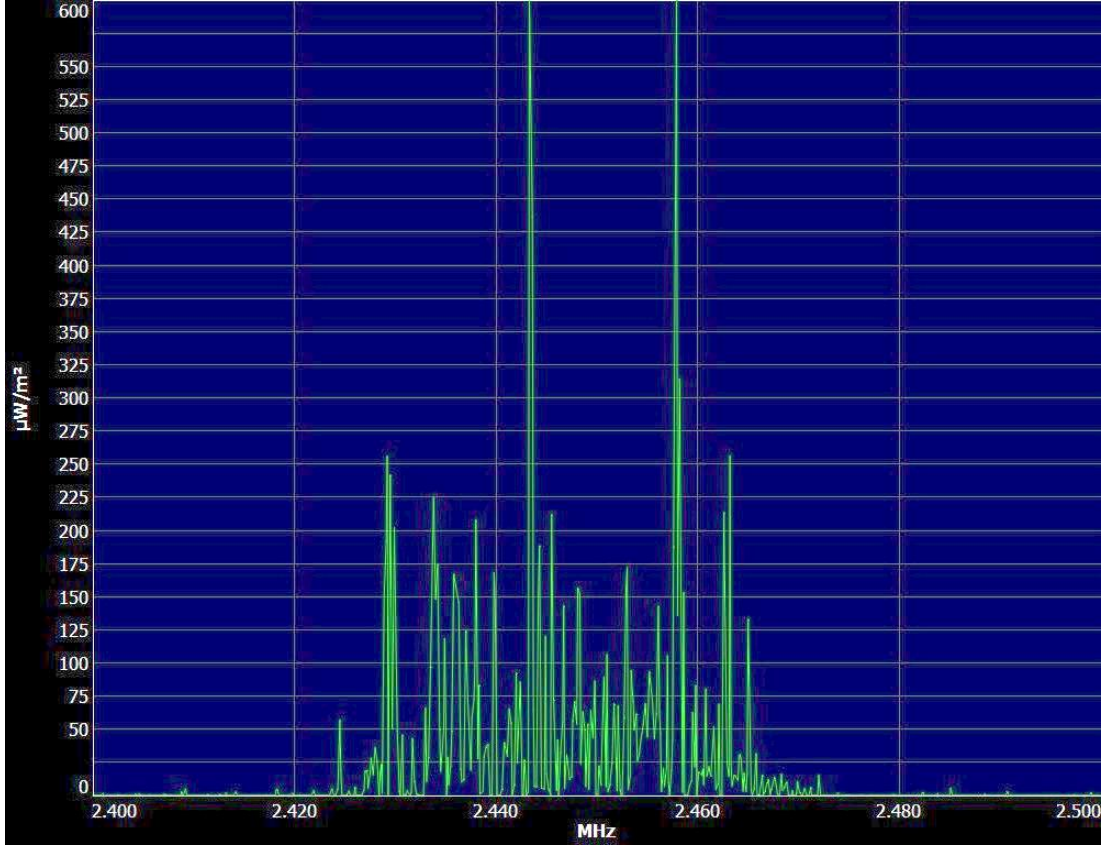
9. ölçümde; 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alanın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.2.9 : 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 4 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.9'dan görüleceği üzere, manyetik alanın tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Manyetik Alan, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri **160mV/m**'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $0.65 / 160 \approx \% 0.40$ düzeyindedir.

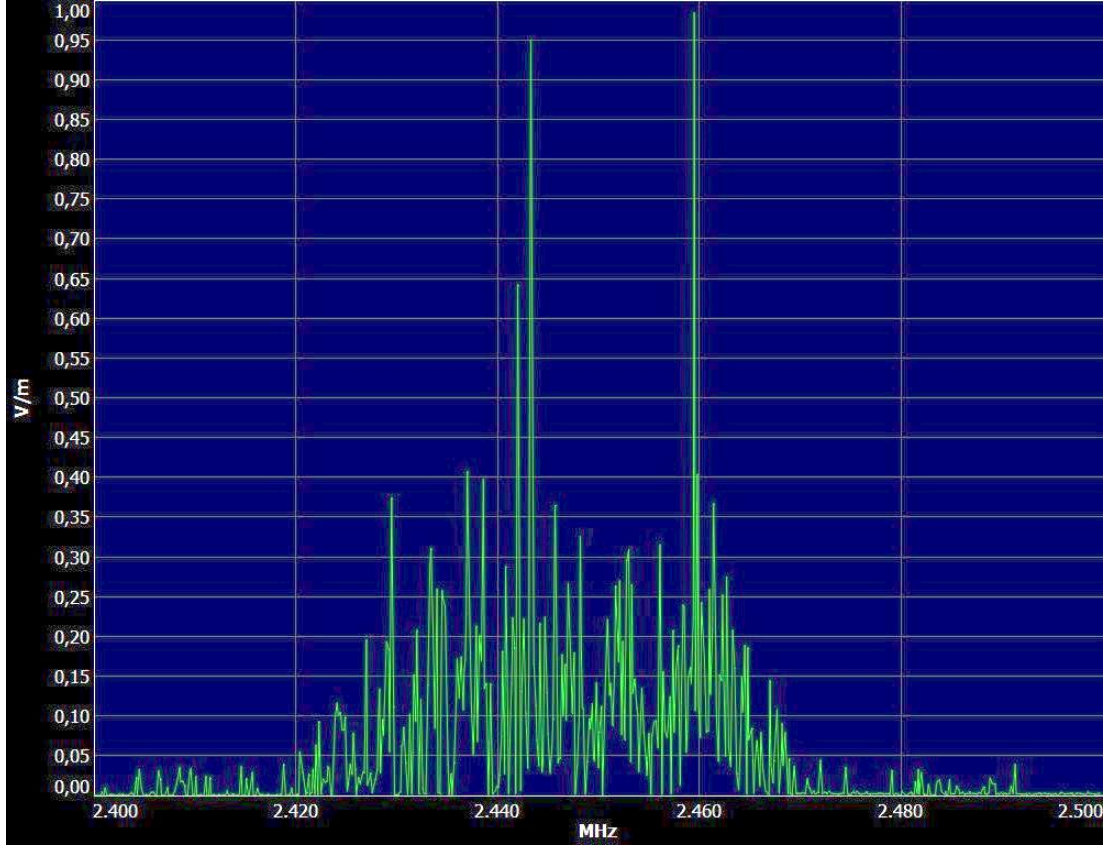
10. ölçümde; 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğunun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.2.10 : 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Güç Yoğunluğu'nun, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.10'dan görüleceği üzere, güç yoğunluğunun tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Güç Yoğunluğu, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri $10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$ 'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $600 / 10^7 = 6 \times 10^{-5}$ (milyonda altmış) düzeyindedir.

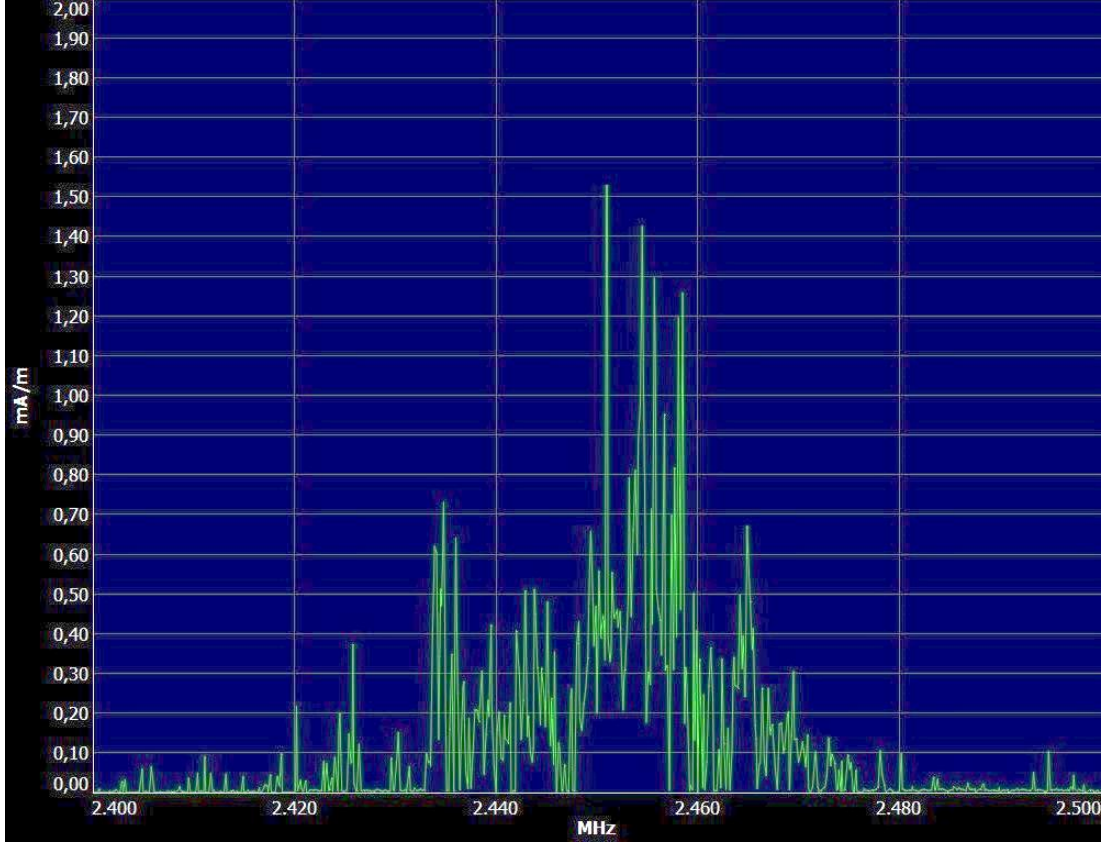
11. ölçümde; 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alanın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2.11 : 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Elektrik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.11'den görüleceği üzere, elektrik alanın tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Elektrik Alan, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri **61.4V/m**'nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $0.1 / 61.4 \approx \% 0.16$ düzeyindedir.

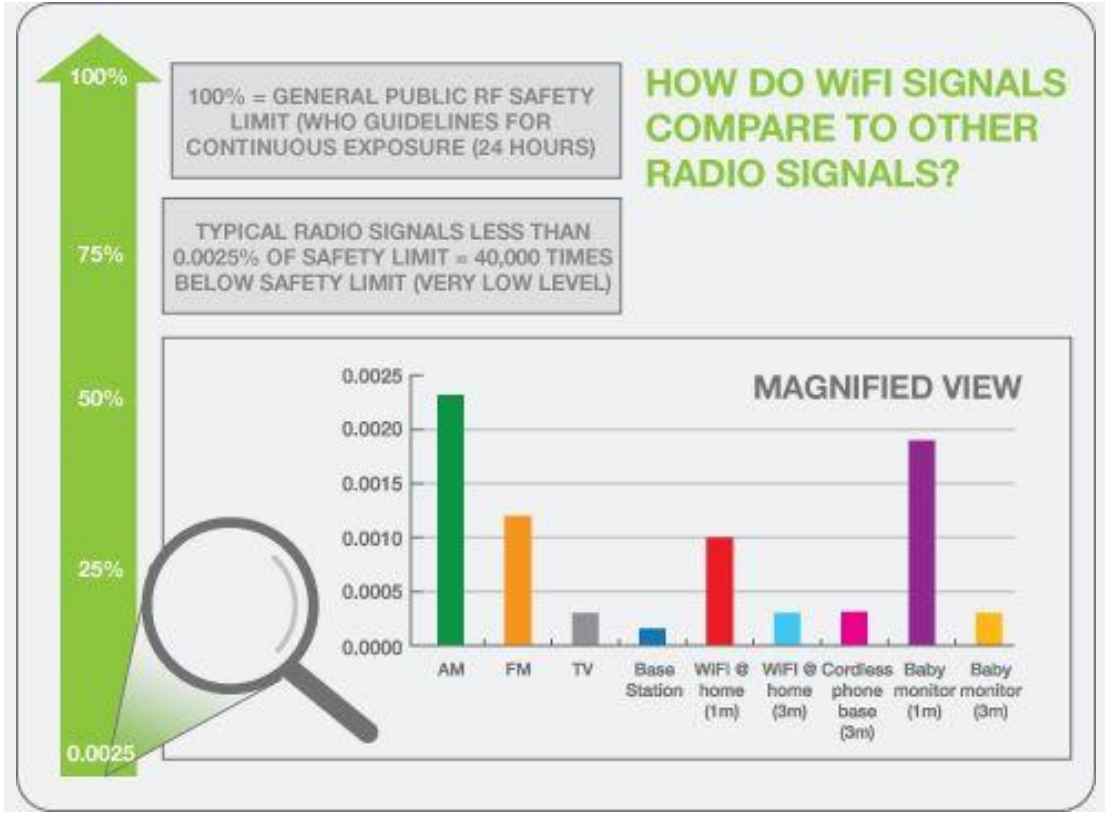
12. ölçümde; 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alanın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı Şekil 6.2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2.12 : 2 cihaz modemle veri transferi hâlindeyken, modeme 2 metre uzaklıkta ölçülen Manyetik Alan'ın, Wi-Fi frekanslarındaki dağılımı

Şekil 6.2.12’den görüleceği üzere, manyetik alanın tepe değerleri modemin bulunduğu 10. WLAN kanalında (2447MHz ile 2467MHz arasında) gözlemlendi. Manyetik Alan, insan sağlığına zararlı kabul edilen sınır değeri **160mA/m**’nin oldukça altındadır. En yüksek değerler bile sınır değerinin $1.55 / 160 < \% 1$ düzeyindedir.

Tezde yapılan ölçümlerde, ulusal ve uluslar arası kurum ve kuruluşların belirlediği sınır değerlerine oldukça uzak kalındığı ve güvende olduğu anlaşılmıştır. Nitekim bu yargıyı, Dünya Sağlık Örgütü'nün ortaya koyduğu Şekil 6.2.12'deki grafik de desteklemektedir:



Şekil 6.2.13 : Bir evin içindeki radyo sinyal seviyelerinin karşılaştırılması
Kaynak : Url-11

Bu grafik, ortalama bir ev içinde ölçülen EM (elektromanyetik) radyasyonun, sınır değerlerinin yüzdesi olarak karşılıklarını göstermektedir. Kablosuz cihazlar da dahil, tüm ölçülen EM radyasyon seviyeleri çok düşük seviyede kalmaktadır. Toplam kümülatif rms (ortalama) EM radyasyon seviyeleri, sınır seviyelerinin %0.0025 altında kalmış olup güvenli sınırdan 40'000 kat daha düşüktür.

Radyo frekanslı emisyonlar, kablosuz teknolojiler ve sağlık hakkında WHO'nun çıkarımı şu şekildedir:

“Kapsamlı araştırmalara rağmen, bugüne kadar düşük seviyeli elektromanyetik alanlara maruz kalmanın insan sağlığına zararlı olduğu sonucuna varacak hiçbir kanıt yoktur” (Url-11).

7. SONUÇ

İlerleyen teknoloji ve yeniliklerle elektronik cihazların etkileri de giderek artmakta olup tezimizin giriş kısmında belirtilen Wi-Fi frekans bandındaki teknolojilerin etkileri de bunların başında gelmektedir.

Tezin amacı, elektronik cihazların oluşturduğu elektromanyetik radyasyonun (ışımının / yayılmanın) nasıl oluştuğunu ve bu etkilerin ne sonuçlar doğurduğunun ortaya konulması, ulusal ve uluslararası kuruluşların bu konuda koyduğu sınır değerlere ne ölçüde yaklaştığımızın tespiti ve alınabilecek önlemlerin ortaya konmasıdır.

Elektromanyetik kirlilik ve radyasyon gözle görülüp dokunma duyusuyla da hissedilemediği için ne ölçüde etkilerinin olduğu konusu hep merak konusu olagelmıştır. Bu etkilerin çok sayıda doku, organ ve sistemlere farklı düzeylerde olduğu anlatılmıştır.

Teoride belirtildiği gibi; elektromanyetik alan kaynağına (modeme) olan uzaklık arttıkça ölçülen değerler de daha hızlı olarak arttı. Diğer bir deyişle modeme olan uzaklık yarıya indirildiğinde güç yoğunluğu, elektrik alan ve manyetik alan değerleri oldukça arttı. Bununla beraber, 2 adet cihazla (cep telefonu) veri transeri hâlinde olan (radyasyon yayan) tipik bir modeme 1 metre kadar yakında bile bulunduğu ortaya çıkan radyasyonun, sınır değerlerin çok çok altında (%1'in altında) kaldığı ortaya çıkmıştır.

Nitekim üretilen modemlerin de insan sağlığına zararlarının en aza indirilmesi için ürettikleri radyasyonun en fazla bu düzeylerde olması beklenir.

Radyasyondan etkilenmemenin mümkün olmadığı açık olup zararlı etkilerin minimize edilmesi gerekmektedir. Bunun için mesleği gereği radyasyona maruz kalan çalışanlar için ulusal ve uluslararası kurumların ortaya koyduğu sınırlamalar dikkate alınmalı, dozimetre ya da ölçüm cihazları kullanılmalı, koruyucu malzemeler, iş elbiseleri kullanılmalıdır.

Radyasyondan korunmanın metotları farklı olup bunlardan birisi ışına yapan cihaza ya da sisteme olabildiğince uzak durmak, dolayısıyla çok yakınında olmamaktır. Çünkü elektrik alan ve manyetik alan şiddeti, uzaklaştıkça hızla azalmaktadır.

Gerekmediği durumlarda radyasyon üreten cihaz ve sistemlerin kapatılması ya da durdurulması faydalı olacaktır. Alan kaynaklarını uzaklaştırmanın ya da onlardan uzaklaşmanın mümkün olmadığı koşullarda ise iletkenlerle ekranlama yapmak gerekir. İletkenlerin elektrik geçirgenliği düşüktür çünkü. Manyetik ekranlamalar için de demir, kobalt, nikel gibi bağıl manyetik geçirgenliği 1'den çok büyük olan cisimler (ferromanyetik cisimler) kullanılabilir.

Wi-Fi (kablosuz internet), kaynakları sürekli artacağı için araştırmalar ve alınacak önlemler artırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altun N.** (2001) Elektromanyetik Dalgaların İnsan Vücudu Üzerindeki Biyolojik Etkileri. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Arslantaş N.** (2012) Elektromanyetik Alan (EA) şiddetinin Okul ve Sağlık Kuruluşları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Teknik Uzmanlık Tezi
- Atılgan E.** (2013) Wi-Fi Haberleşmede İnsan Kafası SAR Değerinin Hesaplanması ve Ölçüm Çalışması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Cansız M.** (2010) Diyarbakır İl Merkezinin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması ve Durum Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Coşkun Ö.** (2011) Radyo Frekans Alanlar ve Biyolojik Dokular Arasındaki Etkileşim Mekanizmaları, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi Cilt 1, Sayı 1
- Çerezci F.** (2015) K-Means Algoritması ile Elektromanyetik Kirlilik Analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Dilek B.** (2014) Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüs Alanının Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Duru C.** (2014) Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Bölümü Öğrencilerinde Elektromanyetik Radyasyon Riski ve Koruyucu Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Düzgün S.** (2009) Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Zararlı Etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Eker İ.** (2013) Çok Düşük Frekans Elektromanyetik Alanın Cinsiyet İnsidansı Üzerine Etkileri. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı
- Elhasoğlu D.** (2006) Elektromanyetik Kirliliğinin Zararlı Etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Elmas O.** (2007) 50 Hz Elektromanyetik Alan Maruziyetinin Kalp Üzerine Anlık Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, Uzmanlık Tezi

- Genç Ö.** (2010) Radyo Frekanslarında Elektromanyetik Kirliliğe GSM Bantlarının Etkisinin İstatistiksel Analizi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi
- Güçlü G.** (2011) 50 Hz Elektromanyetik Alanlar ve Biyolojik Etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, Yüksek Lisans Tezi
- Gürler H.Ş.** (2012) Elektromanyetik Radyasyonun (2,45 GHz) Rat Beyninde Oluşturduğu Oksidatif Hasar ve Sarımsağın Koruyucu Etkisi. OnDokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Uzmanlık Tezi
- İlhan M.N.** (2008) Bir Tıp Fakültesi Hastanesinde Elektromanyetik Alan Haritası Çıkarılması ve Sağlık Çalışanlarında Sağlık Etkilerinin Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Doktora Tezi
- İnce T.** (2007) Elektromanyetik Kirlilik. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi
- Keysan A.** (2015) Balıkesir İli Şehir Merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesinin Elektromanyetik Alan Haritası. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Köklükaya A. N.** (2013) Öğrencilerin Elektromanyetik Kirliliğe Sebep Olan Bazı Teknolojik Cihazların Bilinçli Kullanımına İlişkin Farkındalık Düzeylerinin İncelenmesi ve Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Fen Bilgisi Öğretmenliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi
- Lin J. C.** (2011) Advances In Electromagnetic Fields In Living Systems
- Maraşlıgiller Y.** (2014) Görece Kısa Süreli Wi-Fi Işıması Biyolojik Dokuları Etkiliyor mu? İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Özyılmaz C.** (2014) 900 MHz Elektromanyetik Alanın Erişkin Erkek Sıçanların Testis Morfolojisi Üzerine Etkisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Sarıkahya N. M.** (2014) Bir İşyerinde Elektromanyetik Alan Ölçümü Yapılması ve Sonuçlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi
- Saygın M. ve diğ.** (2011) Kablosuz Ağ ve Testisler. Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, Cilt: 18, Sayı: 3 Sayfa: 110-115
- Silsüpür G.B.** (2014) Ofis Ortamındaki Mesleki Elektromanyetik Alan Maruziyetinin Belirlenmesi ve Risk Düzeyinin Tespit Edilerek Çözüm Önerilerinin Geliştirilmesi. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği, Uzmanlık Tezi
- Tekintağaç Y.** (2006) Cep Telefonları Tarafından Oluşturulan Elektromanyetik Alanın Kobay EKG' si Üzerine Etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Türkkan A. ve Pala K. (2009) Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon ve Sağlık Etkileri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 14, Sayı 2

Yılmaz H. (2007) Kablosuz Yerel Alan Ağlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alanın İşitme Üzerine Etkilerinin Araştırılması. İstanbul Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kulak-Burun-Boğaz Kliniği, Uzmanlık Tezi

Yükseksöylemez M. (2005) Radyofrekanslı Elektromanyetik Alanların İnsan Dokularına Etkileri Üzerine Bir İnceleme. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Yüksel M.E. ve Zaim H.A. (2009) RFID'nin Kablosuz İletişim Teknolojileri İle Etkileşimi. Harran Üniversitesi, Akademik Bilişim

İnternet Kaynakları :

Atakan Y. (2016). Cep Telefonları ve Sağlığımız? Alındığı tarih: 02.08.2019 Adres: <https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2016/01/CEP-TELF-RADYASYON-YENI-ATAKAN090716.pdf>

Url-1 <<https://slideplayer.com/slide/8996382/>>, alındığı tarih: 20.09.2019.

Url-2 <https://images.slideplayer.com/27/8996382/slides/slide_5.jpg>, alındığı tarih: 14.05.2018.

Url-3 <<https://www.icnirp.org/en/home/home-read-more.html>>, alındığı tarih: 06.06.2019.

Url-4 <<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>>, alındığı tarih: 06.06.2019.

Url-5 <<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/10/20151009-2.htm>>, alındığı tarih: 03.09.2019.

Url-6 <www.slideshare.net/apoorvshetty/smart-antenna-systems>, alındığı tarih: 14.05.2019.

Url-7

<http://people.seas.harvard.edu/~jones/es151/prop_models/propagation.html>
> alındığı tarih: 14.05.2019.

Url-8 <https://en.wikipedia.org/wiki/E-plane_and_H-plane>, alındığı tarih: 14.05.2019)

Url-9 <<http://antennatutorials.blogspot.com.tr/2013/05/radiation-pattern-of-half-wave-dipole.html>>, alındığı tarih: 06.05.2019.

Url-10 <<https://www.telonic.co.uk/Aaronia-SPECTRAN-HF-6060-V4-Spectrum-Analyser-p/aa-spectran-hf-6060-v4-203.htm>>, alındığı tarih: 01.11.2019.

Url-11 <<http://www.emfexplained.info/?Page=24788>>, alındığı tarih: 12.12.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

İSİM SOYİSİM	REMZİ ZORA
DOĞUM TARİHİ	02.08.1987
DOĞUM YERİ	ÜSKÜDAR - İSTANBUL
SÜRÜCÜ BELGESİ	B (2008)
EĞİTİM DURUMU	YÜKSEK LİSANS
ASKERLİK	TAMAMLANDI (MAYIS 2011)
ÇALIŞMA DURUMU	ÇALIŞIYOR
TOPLAM TECRÜBE	10 YIL
MEDENİ DURUMU	EVLİ
UYRUK	T.C.
E-MAIL	remzizora@gmail.com
TEL	0533 393 71 14

Eğitim Bilgileri

EĞİTİM SEVİYESİ	OKUL	DERECE
YÜKSEK LİSANS	İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ	3,43 / 4
LİSANS	ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ	2,45 / 4
LİSE	KARTAL SÜPER LİSESİ	4,75 / 5

Yabancı Dil Bilgisi ve Akademik Sınavlar

BRANŞ	DÜZEY	SINAV	YIL	PUAN (100 üzerinden)
İNGİLİZCE	ÇOK İYİ	YDS	2014 (NİSAN)	83,75
ALMANCA	ORTA			
TÜRKÇE, MATEMATİK, SÖZEL MANTIK, SAYISAL MANTIK	İYİ	ALES	2015 (KASIM)	77,00

Kurs / Seminer Bilgileri

KURS	KURUM	BAŞLANGIÇ	BİTİŞ	SÜRE
BİLGİSAYAR İŞLETMENLİĞİ	İSTANBUL KARTAL HALK EĞİTİM MERKEZİ VE AKŞAM SANAT OKULU	23.09.2013	03.01.2014	160 SAAT
16. KARIYER EĞİTİM GÜNLERİ	İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ & İBB	10.03.2013	26.05.2013	48 SAAT
DİKSİYON KURSU	İSTANBUL MALTEPE HALK EĞİTİM MERKEZİ VE AKŞAM SANAT OKULU	30.10.2012	05.03.2013	72 SAAT
İŞ HAYATINDA DUYGUSAL ZEKA	BEST PERFORMANCE EDUCATION CENTER	22.02.2010	23.04.2010	36 SAAT
VÜCUT DİLİ VE ETKİLİ İLETİŞİM	BEST PERFORMANCE EDUCATION CENTER	12.10.2009	18.12.2009	40 SAAT
BEYİN DİLİ PROGRAMLAMA (NLP)	BEST PERFORMANCE EDUCATION CENTER	05.10.2009	27.11.2009	48 SAAT
İNSANİ GELİŞİM	YEDİ İKLİM EĞİTİM KURUMLARI	12.11.2007	29.02.2008	64 SAAT

Bilgisayar Bilgisi

İŞLETİM SİSTEMİ / PROGRAM	SEVİYE
XP, VISTA, W7, W8, W10	ÇOK İYİ
WORD, EXCEL, POWERPOINT, OUTLOOK	MÜKEMMEL
ACCESS, PUBLISHER, ONENOTE	ORTA
AUTOCAD 2011 LT	ORTA
C#, JAVA	ORTA
MATLAB, SIMULINK	İYİ
IBM LOTUS NOTES	MÜKEMMEL

İş Tecrübesi

KURUM / FİRMA	ÜN VAN	BAŞLANGI Ç	BİTİ Ş	GÖREV / SORUMLULUK
İNCEKARALAR TIBBİ CİHAZLAR TİCARET A.Ş.	KLİNİK MÜHENDİSİ	KASIM 2011		LaminairFlow, Santrifüj, Etüv, İnkübatör, Mikromanipülatör, Mikroskop ve Video-Kamera gibi tıbbi cihazlara ait pcb elektronik kart üzerindeki ve cihaz üzerindeki arızaların ve sorunların tespit edilmesi, cihazların iyileştirilmesi, kalibrasyonlarının yapılması, IQ / OQ sertifikalarının hazırlanması, tıbbi sektördeki uygulamalarının, kullanımının öğretilmesi ve desteğinin sağlanması.
SERMED TIBBİ CİH. LTD. ŞTİ.	BİYOMEDİK AL MÜHENDİSİ	AĞUSTOS 2011	EKİ M 2011	Patoloji laboratuvarlarında kullanılan tıbbi cihazların kurulumu, personele eğitiminin verilmesi, teknik desteğin ve servisin sağlanması, periyodik bakımlarının yapılması ve cihazların optimizasyonu. Ayrıca teknik servis kılavuzlarının çevirisi.
THY TEKNİK A.Ş.	STAJYER MÜHENDİS	07.12.2009	15.01 .2010	Aviyonik (Uçak) ekipmanları ve komponentlerinin bakımı, onarımı, kontrolü ve kullanıma hazır hâle getirilmesi.
VEMUS ENDÜSTRİYEL ELEKTRONİK LTD. ŞTİ.	TASARIM VE KONTROL MÜHENDİSİ	02.11.2009	20.11 .2009	Bilgisayara bağlanabilen ölçü ve kontrol cihazları, Elektronik şifreli güvenlik sistemleri, Makine cihaz panellerinin geliştirilmesi, kalite kontrol ve sertifikasyonlarının yapılması.
TÜRK TELEKOM A.O.	STAJYER MÜHENDİS	25.08.2008	12.09 .2008	Bakır kablo, fiberoptik kablo ve kablosuz sistemlerden oluşan erişim şebekelerinin planlanması, altyapısının ayarlanması, kablolama, topraklama, koruma ve aktarma tekniklerinin düzenlenmesi ve yürütülmesi.

