

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

**31.5 kV YER ALTI ENERJİ NAKİL HATTINDAN
YAYILAN MANYETİK ALANLARIN ÖLÇÜLMESİ VE
MARUZİYETİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nur GEZER

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yahya TEŞNELİ

Şubat 2022

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**31.5 kV YER ALTI ENERJİ NAKİL HATTINDAN
YAYILAN MANYETİK ALANLARIN ÖLÇÜLMESİ VE
MARUZİYETİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nur GEZER

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez . .2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Nur GEZER

TEŐEKKÖR

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesiyle aşmamda yardımcı olan, sabrını ve desteğini her zaman hissettiğim değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yahya TEŞNELİ'ye teőekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmeme vesile olan, hayatım boyunca her zaman yanımda olan anne yarım ablam Emriye GEZER'e, beklenmedik bir zamanda aramızdan ayrılan babama ve beni yalnız bırakmayan anneme ve tüm aileme en içten teőekkürlerimi sunarım.

Son olarak yıllardır birlikte çalıştığım ve desteğini her zaman hissettiğim Sayın Müdürüm Ekrem DEMİRARSLAN'a teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ELEKTROMANYETİK ALANLARIN SAĞLIK ETKİLERİ.....	5
2.1. Giriş	5
2.2. Elektromanyetik Alanların Sağlık Etkileri	7
2.2.1. Etki mekanizması	7
2.2.2. EMA sağlık etkilerine ilişkin tarihsel gelişim ve genel bilgi.....	8
2.2.3. Elektromanyetik alanların biyolojik etkileri.....	9
2.2.3.1. Biyolojik dokuların elektriksel özellikleri	10
2.2.3.2. Biyolojik dokularda değişik frekans aralıklarının etkisi	11
2.2.4. Radyo frekans (RF) alanların etkisi.....	14
2.2.5. İnsan vücudunda RF radyasyonun oluşturduğu başlıca etkiler...	15
2.2.5.1. Termal etkileri.....	15
2.2.5.2. Göz üzerine etkiler.....	15
2.2.5.3. Sinir sistemi.....	15
2.2.5.4. Üreme ile ilgili dokular.....	16

2.2.5.5. Dolaşım sistemi.....	16
2.2.5.6. RF alanlarının diğer organlar üzerindeki etkileri.....	17
2.2.6. Çok düşük frekanslı (ELF) alanların etkileri.....	17

BÖLÜM 3.

YER ALTI KABLOLARI	21
3.1. Tanımı	21
3.2. Yer Altı Kablolarının Başlıca Özellikleri, Avantajları ve Dezavantajları	21
3.3. Yer Altı Kablolarının Çeşitleri.....	22
3.4. Yer Altı Kablolarının Kablo ve İletken Yapısı.....	22
3.4.1. 20,3/35 kV XLPE izoleli tek damarlı orta gerilim güç kablosu iç yapısı ve özellikleri.....	24
3.5. Yer Altı Kablolarının Montajı.....	26
3.6. Yer Altı Kablolarının Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar.....	27

BÖLÜM 4.

ELEKTROMANYETİK ALANLAR	30
4.1. Maxwell Denklemleri	30
4.2. Elektromanyetik Dalgalar	32
4.2.1. Radyo dalgalar.....	32
4.2.2. Mikrodalgalar.....	33
4.2.3. Kızıl ötesi ışınlar.....	33
4.2.4. Görünür ışık.....	33
4.2.5. Morötesi ışınlar.....	34
4.2.6. X Işınları.....	34
4.2.7. Gama ışınları.....	35
4.3. Dalga Denklemi.....	35
4.4. Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri.....	36
4.5. Elektromanyetik Düzlem Dalga.....	37
4.6. Elektromanyetik Dalganın Taşıdığı Enerji ve Momentum.....	37
4.7. Elektromanyetik Dalga Polarizasyonu.....	39
4.8. Elektromanyetik Dalga Yayılımı.....	40

BÖLÜM 5.

MANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİ	41
5.1. Giriş.....	41
5.2. Limit Değerler ve Yasal Düzenlemeler.....	41
5.2.1. Uluslararası düzenlemeler.....	41
5.2.2. Ulusal düzenlemeler.....	43
5.2.3. Farklı frekanslı alanlara eşzamanlı maruziyet.....	45
5.3. Manyetik Alan Ölçümleri.....	45
5.3.1. Ölçüm yöntemi.....	45
5.3.2. Geniş bant ölçüm sonuçları.....	46
5.3.3. A noktası frekans seçmeli ölçüm sonuçları.....	47
5.3.4. B noktası frekans seçmeli ölçüm sonuçları.....	53

BÖLÜM 6.

TARTIŞMA VE SONUÇ.....	60
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
BTK	: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CNS	: Cardiovascular Noratic Sendrom
DNA	: Deoksiribo nükleik asit
EEG	: Elektroensefalografi
ELF	: Çok düşük frekans
EMA	: Elektromanyetik Alanlar
EMG	: Elektromiyografi
EMR	: Elektromanyetik Radyasyon
GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System for Mobile Communications
IARC	: Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı
ICNIRP	: İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu
PVC	: Polivinil klorid
RF	: Radyo frekans
RNA	: Ribonükleik asid
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
UHF	: Ultra yüksek frekans
UMTS	: Universal Mobile Telecommunications System
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
XPLE	: Çapraz bağlı polietilen
YGH	: Yüksek gerilim hattı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrumu.....	7
Şekil 3.1. Tek Damarlı XPLE Kablo İç Yapısı.....	24
Şekil 3.2. Standart kablo kanalı.....	26
Şekil 4.1. Düzlem elektromanyetik dalga.....	32
Şekil 4.2. Dalganın polarizasyonu.....	39
Şekil 5.1. Geniş bant manyetik akı yoğunluğu ölçüm sonuçları	47
Şekil 5.2. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (A noktası, yerden yükseklik 0 m).....	48
Şekil 5.3. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (A noktası, yerden yükseklik 0.5 m).....	48
Şekil 5.4. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (A noktası, yerden yükseklik 1 m).....	49
Şekil 5.5. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (A noktası,yerden yükseklik 1.5 m).....	49
Şekil 5.6. 50 Hz frekansındaki manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi	50
Şekil 5.7. Harmonik frekanslarındaki manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi.....	51
Şekil 5.8. Toplam manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi.....	51
Şekil 5.9. ICNIRP limitlerine göre genel halk için maruziyet oranı.....	52
Şekil 5.10. ICNIRP limitlerine göre mesleki maruziyet oranı.....	53
Şekil 5.11. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (B noktası, yerden yükseklik 0 m)	54
Şekil 5.12. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (B noktası,	

yerden yükseklik 0.5 m)	55
Şekil 5.13. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (B noktası, yerden yükseklik 1 m).....	55
Şekil 5.14. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (B noktası, yerden yükseklik 1.5 m).....	56
Şekil 5.15. 50 Hz frekansındaki manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi.....	57
Şekil 5.16. Harmonik frekanslarındaki manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi.....	57
Şekil 5.17. Toplam manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi	58
Şekil 5.18. ICNIRP limitlerine göre genel halk için maruziyet oranı.....	59
Şekil 5.19. ICNIRP limitlerine göre mesleki maruziyet oranı.....	59

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. EM dalgaların vücut dokularındaki direnci.....	9
Tablo 2.2. Değişik tip derilerin gösterdikleri dirençler.....	10
Tablo 2.3. Elektrik tehlikeleri bakımından sınıflandırma.....	10
Tablo 2.4. Yüksek oranda su bulunduran dokular	13
Tablo 2.5. Düşük oranda su bulunduran dokular.....	13
Tablo 3.1. 20,3/35 kV XLPE izoleli tek damarlı kabloların elektriksel özellikleri	25
Tablo 5.1. Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara genel halk maruziyeti için limit değerler.....	42
Tablo 5.2. Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara mesleki maruziyet için limit değerler.....	43
Tablo 5.3. 0 Hz - 300 GHz frekans bantlarındaki elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için Türkiye’de geçerli limit değerler (Genel Halk).....	44
Tablo 5.4. Limit değerler (f =50Hz için).....	45

ÖZET

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik alanlar, yer altı enerji kabloları, maruziyet, limitler.

Artan nüfus, gelişen sanayi ve teknoloji ile birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Artan bu ihtiyaç doğrultusunda, elektrik enerjisi üretimi ne kadar önemliyse, üretilen enerjinin güvenli ve kesintisiz bir şekilde iletimi ve dağıtımı da o denli önem arz etmektedir. Özellikle yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgelerde enerjinin iletimi ve dağıtımını havai hatlara göre daha güvenli olduğundan ve estetik açıdan yer altından sağlamak için yer altı enerji kabloları kullanılmaktadır. Yer altı enerji kabloları da diğer iletim ve dağıtım elemanları gibi çevresinde elektromanyetik alanlar oluşturmaktadır. Artan enerji ihtiyacıyla birlikte canlıların maruz kaldığı elektromanyetik alanlar artmakta ve bununla birlikte elektromanyetik alanların canlılar üzerindeki olası olumsuz etkileri gündeme gelmektedir. Maruz kalınan elektromanyetik alanların limit değerleri aşmaması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada; elektrik iletim ve dağıtımında kullanılan yer altı enerji kablolarının oluşturduğu elektromanyetik alanlar incelenmiş, elektromanyetik alanların sağlık üzerindeki etkilerini konu alan literatür gözden geçirilmiştir. Elektromanyetik alanlara maruziyet ile ilgili uluslararası standartlar ve Türkiye’de yürürlükte olan yasal mevzuat araştırılmış, karşılaştırmalar yapılmıştır. Elektrik dağıtımının yapıldığı yüksek gerilim üç faz yer altı enerji kablosunun bulunduğu saha örnek bir maruziyet değerlendirmesi yapılmak üzere seçilmiştir. Enerji nakil hattının merkezinde ve yakın çevresinde 45-2000 Hz frekans bandını kapsayacak şekilde geniş bant ve frekans seçmeli yöntemlerle manyetik akı yoğunlukları ölçülmüştür. Ölçümler hatta farklı yatay uzaklıklarda ve farklı yüksekliklerde tekrarlanmıştır. Ölçüm sonuçlarının tamamı gözönünde bulundurulduğunda alan seviyesinin $2.89 \mu\text{T}$ ve altında olduğu görülmüştür. ICNIRP tarafından belirlenen limit değerlere göre en yüksek maruziyet oranı %2.31 olarak belirlenmiştir ve sonuçlar limitler değerlerin altında elde edilmiştir. Bazı epidemiyolojik araştırmalarda riskli olarak belirlenen $0.2 \mu\text{T}$ seviyesi referans alındığında ise bu seviyenin pek çok ölçüm noktasında aşıldığı sonucu elde edilmiştir.

MEASUREMENT OF MAGNETIC FIELDS RADIATED BY 31.5 kV UNDERGROUND TRANSMISSION LINE AND EXPOSURE ASSESSMENT

SUMMARY

Keywords: Electromagnetic fields, underground energy cables, exposure, limits.

The need for electrical energy is increasing day by day with the increasing population, developing industry and technology. Due to this increasing need, the safe and uninterrupted transmission and distribution of the generated energy is just as important as generation of electrical energy. Especially in areas where residential areas are dense, underground energy cables are used to ensure that the transmission and distribution of energy is safer than overhead lines and aesthetically. Underground energy cables, like other transmission and distribution elements, create electromagnetic fields around them. Electromagnetic fields that living things are exposed increase with the increasing need for energy, and together with this, the possible negative effects of electromagnetic fields on living things come to the fore. Necessary precautions should be taken to ensure that the exposed electromagnetic fields do not exceed the limit values.

In this study; Electromagnetic fields created by underground energy cables used in electricity transmission and distribution have been examined, and the literature on the effects of electromagnetic fields on health has been reviewed. International standards regarding exposure to electromagnetic fields and the legislation in force in Turkey were researched and comparisons were made. The site where the high voltage three-phase underground power cable is located, where electricity is distributed, was selected for an exemplary exposure assessment. Magnetic flux densities were measured by broadband and frequency selective methods, covering the 45-2000 Hz frequency band, in the center of the power transmission line and its immediate surroundings. The measurements were even repeated at different horizontal distances and at different heights. Considering all the measurement results, it was observed that the field level was 2.89 μT and below. According to the limit values determined by ICNIRP, the highest exposure rate was determined as 2.31% and the results were obtained below the limits. When the 0.2 μT level, which was determined as risky in some epidemiological studies, is taken as reference, it was concluded that this level was exceeded at many measurement points.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Nüfusun artması, sanayinin ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrik enerjisine olan talep artmaktadır. Artan bu taleple birlikte elektrik enerjisi üretimi ne kadar önemliyse, üretilen enerjinin güvenli ve kesintisiz iletimi ve dağıtımı da o kadar önemli hale gelmektedir. Özellikle yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgelerde, enerji iletim ve dağıtımının havai hatlara göre daha güvenli ve estetik açıdan güzel olması için yer altı enerji kabloları kullanılmaktadır. Yer altı enerji kabloları da diğer iletim ve dağıtım bileşenleri gibi etraflarında elektromanyetik alanlar oluşturur. Enerji talebi artmaya devam ettikçe canlıların maruz kaldığı elektromanyetik alanlar da artmakta ve bununla birlikte elektromanyetik alanların canlılar üzerindeki olası olumsuz etkileri ortaya çıkmaktadır. Elektromanyetik alanın uygun sınırlar arasında kalması için gerekli önlemler alınmalıdır.

Birçok ülke, düşük ve yüksek frekansa sahip elektromanyetik alan kirliliği seviyesini ölçmek için farklı bilimsel araştırmalar gerçekleştirmiştir. Paulino ve ark. 2001'de, İtalya'da elektromanyetik alan kirliliğini gözlemlemek için GPS destekli yaklaşım kullandılar [1].

Bertocco ve ark. 2002 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde ortamda bulunan elektromanyetik alan şiddetini hesaplamak için bir ölçüm sistemi kurmuş ve bu sayede geniş bir coğrafi alanda elektromanyetik kirliliği hesaplamışlardır [2].

Bornkessel ve ark. 2003 yılında GSM ve UMTS baz istasyonlarının etrafındaki elektromanyetik alanı ölçtüler ve hesapladılar [3].

Radoviç ve ark. 2004 yılında Bulgaristan'da GPS desteği ile GSM 900 ve GSM 1800 kanalları sinyal seviyesini otomatik olarak ölçebilen sistem geliştirdiler [4].

Henderson ve ark. 2005 yılında, elektromanyetik alan şiddeti seviyesini ölçmek için Avustralya'nın 50 ila 500 metre içindeki 60 baz istasyonunu denetlediler [5].

Farag ve ark. 2011 yılında, yer altı kablolarında üretilen manyetik alanları ölçüp, çeşitli tasarım parametrelerinin manyetik alana etkilerini incelediler. En az maliyetle, en düşük manyetik alan değerlerini görmek için en iyi tasarım üzerinde çalıştılar [6].

Ülkemizde; Önal, 2005 yılında elektromanyetik alanlara maruz kalma konusunda günlük yaşamda bilgi vermiş ve elektromanyetik alan kaynakları üzerine araştırma yapmıştır [7].

Elhasoğlu, uzun süre elektromanyetik alanlara maruz kalan bireylerin sağlık sorunlarını belirlemek için 2006 yılında 11 sorudan oluşan bir anket hazırlamış ve yüksek gerilim hatlarına 30 metre mesafede yaşayanlar ile daha uzak mesafede yaşayanlar arasında; baş ağrıları, eklem ağrıları, nörolojik ve solunum yolu rahatsızlıkları, kalp hastalıkları, tansiyon bozuklukları ve uyku bozukluklarını yaş ve oturma süresi gibi değişkenlere göre istatistiksel oranlarını değerlendirmiştir [8].

Tekintanğaç, 2006 yılında yaptığı çalışmada cep telefonlarından kaynaklı elektromanyetik alanların kobayların EKG'si üzerindeki etkisini incelemiştir [9].

İnce, 2007 yılında Ankara' da radyo ve televizyon vericisi ile birlikte baz istasyonlarının olduğu alanda 100 kHz – 3 GHz frekans aralığını ölçen EMR 300 cihazı ile çalışmalar yapmış ve bölgede meydana gelen elektromanyetik kirlilik hakkında bilgi vermiştir [10].

2007 yılında Bursa'da Nilüfer belediyesinin isteği üzerine Çerezci, Sakarya Üniversitesi' nin yapmış olduğu 5-6 Mart 2007 tarihinde 74 ayrı noktadaki ölçümler sonucunda elektrik hatları, transformatörler ve baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik kirlilik seviyesini belirlemek üzere rapor sunmuştur [11].

2008 yılında İlhan, Gazi Üniversitesi, Tıp Fakültesi'ne ait elektromanyetik alan haritasını çıkarmış, burada çalışanların sağlık durumlarını incelemiştir [12].

2010 yılında Cansız ve Kurt, Diyarbakır'ın 100 kHz - 3 GHz frekans bandında elektromanyetik kirliliği ölçmüşler, ölçümleri renkli olarak sayısal bir harita üzerinde göstermişlerdir [13].

2014 yılında Kumru ve ark. 154 kV yüksek gerilimli üç fazlı iletim hatlarının altındaki elektrik alan şiddeti değerleri hesaplamışlar, ayrıca simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır [14].

2015 yılında İl ve ark. mevcut yer altı kablo kanallarındaki manyetik alanı ölçmüş ve farklı ekran malzemelerinin manyetik alanı azaltmaya yönelik davranışları analiz etmiştir. Kablo kanalları için, güvenlik limitleri ile değerlendirilerek en uygun ekran tipi araştırılmıştır [15].

2016 yılında Aktaş ve Coşkun, transformatör neden olduğu elektromanyetik alana maruz kalan 60 kişinin bulunduğu bir grup ile aynı kurumdaki görevli transformatörlere maruz kalmayan 20 kişinin bulunduğu bir kontrol grubuna 15 sorudan oluşan bir araştırma anketi yapmıştır [16].

Bu çalışmada; elektrik iletim ve dağıtımında kullanılan yer altı enerji kablolarının oluşturduğu elektromanyetik alanlar incelenmiş, elektromanyetik alanların sağlık üzerindeki etkilerini konu alan literatür gözden geçirilmiştir. Elektromanyetik alanlara maruziyet ile ilgili uluslararası standartlar ve Türkiye de yürürlükte olan yasal mevzuat araştırılmış, karşılaştırmalar yapılmıştır. Elektrik dağıtımının yapıldığı yüksek gerilim üç faz yer altı enerji kablolarının bulunduğu saha örnek bir maruziyet değerlendirmesi yapılmak üzere seçilmiştir. Bu hattın yakın çevresinde seçilen birçok noktada kabloların birlikte oluşturdukları elektromanyetik alan şiddetleri ölçülmüştür. Elektromanyetik alan şiddetinin kablo konumlarıyla değişimi araştırılmıştır. Yapılan ölçümler sonunda elektromanyetik alan şiddetinin nispeten yüksek elde edildiği noktalar için maruziyet oranı hesabı ve ilgili limit değerlerle

karşılaştırmalar yoluyla riskler değerlendirilmiştir. Seçilen örnek saha için manyetik akı yoğunluğu değerleri ve maruziyet oranı limitlerin altında kalmıştır.



BÖLÜM 2. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN SAĞLIK ETKİLERİ

2.1. Giriş

Elektrik prizine takılı bir cihaz açıldığında, bu cihazdan bir akım geçmekte ve elektrik kaynağının gücüyle orantılı bir manyetik alan oluşturmaktadır. Manyetik alan elektrikli cihazın çok yakınında oluşmaktadır. Cihazın yakınındayken çok güçlüdür ve mesafe arttıkça gücü azalmaktadır. Bu alan basitçe ortadan kaldırılamaz ve şiddeti azaltılamaz [17-18]. Elektromanyetik alanlar EMA kısaltmasıyla tanımlanır. İngilizce’de “electromagnetic fields” ve “electric and magnetic fields” sözcüklerinin kısaltılması olarak ifade edilir. Elektrik ve manyetik alanlar birbirinden bağımsız veya beraber oluşabilir. Ancak elektrik ve manyetik alanların biyolojik etkileri ve özellikleri birbirinden farklıdır. Bazı iletken malzemeler (ahşap, bina, deri vb.) elektrik alanını zayıflatır, ancak bu manyetik alanlar için geçerli değildir. Ortak özellikleri, kaynağa olan mesafe arttıkça azalmalarıdır [19]. Elektrik alanı, elektrik yüklerinin etkileşimi ile üretilir. Manyetik alanı bir elektrik akımı akışı yaratır. Lamba prize takıldığında frekans yoğunluğunda bir elektrik alanı, lamba yandığında ise kablodan geçen akımla bir manyetik alan oluşturulur. Manyetik alanın birimi Tesla (T) veya Gauss'tur (G). EMA birimleri arasındaki ilişki aşağıda gösterilmiştir [17].

$$1\text{Tesla (T)} = 10^4 \text{ Gauss (G)} \quad (2.1)$$

EMA ile karşılaşmalar, elektrik enerjisinin kullanılması veya elektrik iletimli cihazların yakınında bulunmayla meydana gelir.

WHO toplum için EMA Kaynaklarını şu şekilde listelemektedir [20]:

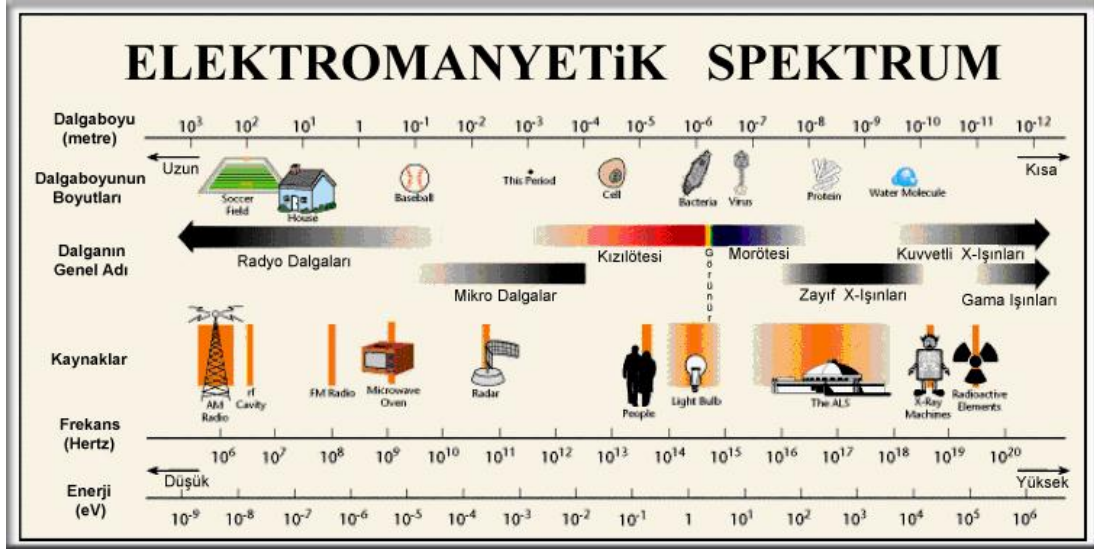
Radar, navigator vb. yön bulucu
Güvenlik sistemi (metal dedektör vb.)
Elektrikle çalışan trenler ve raylar
Yüksek gerilim hatları ve ana dağıtım kabloları
Televizyon ve radyo yayınları
Mobil telefon baz istasyonları

Amerika Birleşik Devletleri'nde yürütülen bir epidemiyolojik çalışmada, evlerde kabul edilebilir EMA düzeyi 2-2,5 mG olarak değerlendirmiş ve bu düzeyin üzerinde EMA'ya sahip evlerde yaşayanların EMA'dan etkilendiği kabul edilmiştir. 2 mG güvenlik sınırı olarak kabul edilmiş ve bu değerin altındaki laboratuvar çalışmalarında sağlığa herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. Fakat bu 2 mG'nin altındaki değerlerin tamamen güvenli olduğu anlamına gelmemektedir. Bu değerin altı nispeten güvenlidir, ancak uzun süreli maruziyetin sonuçları henüz bilinmemektedir [17, 19, 21].

Ev EMA'sına maruz kalma, evin yakınında yüksek voltajlı elektrik hatlarının varlığına, evde çalışan cihazların sayısına ve binanın / evin elektrik kablolarına bağlıdır. Floresan lambalar, TV'ler, saç kurutma makineleri, buzdolapları, bulaşık makineleri, elektrikli battaniyeler, tıraş makineleri vb. cihazlar EMA'nın kaynağıdır.

Bu cihazların aynı anda çalıştırılması aniden yüksek EMA değerlerine ulaşabilir, ancak yüksek yoğunluklu EMA'lar kısa vadede vücutta kümülatif bir etki yaratmamaktadır.

İşyerinde daha fazla elektrikli cihaz vardır ve bu cihazlar her zaman çalışır. Ayrıca çok fazla cihaz için çok fazla kablo olması etkilenimi artırmaktadır. Etki, özellikle iletim hatları döşeyen, jeneratörlerde çalışan ve kaynak işi yapan işçiler için çok daha fazladır. Ofis çalışanları, EMA'nın daha düşük seviyelerinde çalışır. Genel olarak, bir bilgisayar veya fotokopi makinesi çalıştığında, evde olduğundan daha fazla EMA'ya maruz kalınmaktadır. Sağlık sektöründe EMA düzeylerini ve etkilerini araştıran yeterli çalışma yoktur [17].



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrumu

2.2. Elektromanyetik Alanların Sağlık Etkileri

2.2.1. Etki mekanizması

Elektromanyetik alanların etki mekanizması henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Günümüzde hücre zarı reseptör moleküllerinin EMA'ya oldukça duyarlı olduğu bilinmektedir. EMA hücrelerin iyonik bileşimini değiştirmekte, DNA sentezi, RNA transkripsiyonu ve hormon ve nörotransmitterlere cevapları değiştirmektedir. Tarif edilen etkilerin çoğu şiddetlidir ve uzun süreli maruziyetten kaynaklanmaktadır [18,20].

İnsan vücudu elektriksel bir organizmadır ve vücuttaki kimyasal reaksiyon elektriksel bir reaksiyondur. Vücut, dünya gibi bir elektrik alanı yaratır. Ortaya çıkan elektrik alanı, alternatif akım cihazlarından ve elektrik hatlarından etkilenmektedir. Testler yoluyla vücudun EEG, EKG, EMG gibi elektriksel aktivitesi ölçülebilir. Fizik yasalarına göre, küçük akımlar büyük bir EMA'a çok yakınsa değişebilir. Bu değişikliğin EMA'nın insan vücudunu etkilemesinin nedeni olduğuna inanılmaktadır [17].

Ancak; hücre içi metabolik olaylar sonucu, EMA'nın oluşturduğu enerjinin çok daha fazlasının vücutta oluştuğu bilinmekte ve bu düşük enerjinin DNA'da mutasyonlara neden olamayacağı söylenmektedir [18, 20].

2.2.2. EMA sağlık etkilerine ilişkin tarihsel gelişim ve genel bilgi

İlk olarak 1972'de Rusya'da yorgunluk ve baş ağrısıyla EMA'nın ilişkili olabileceği keşfedilmiştir.

1979'da Wertheimer ve Leeper, lösemi başta olmak üzere çocukluk dönemi kanserlerinin, yüksek akımlı elektrik tellerinin eve mesafesi ile ilgili olduğunu saptanmıştır. Bundan sonraki EMA'nın sağlığa olan etkileri ile ilgili önemli çalışmalar aşağıdaki gibidir [17,22].

1982'de Amerika Birleşik Devletleri'nde 1950 ve 1979 yılları arasındaki ölen işçiler incelenmiş; EMA'ya uğrayan 19 işçinin 11'inde lösemiden kaynaklı ölümün olduğu belirlenmiştir.

1986 yılında İsveç'teki yapılan çalışmada, EMA'ya uğrayan sıçan embriyolarının, maruz kalmayan sıçan embriyolarından daha fazla doğum kusurunun olduğu gösterilmiştir.

1988'de Amerika Birleşik Devletleri'nde, bilgisayarının önünde haftada 20 saatten fazla çalışan kadınların düşük yapma riskinin iki katına çıktığı gösterilmiştir.

1989'da Amerika Birleşik Devletleri'nde, kablo serme işinde çalışanlarda kansere yakalanma oranlarının arttığı tespit edilmiştir.

1990'da Savitz, elektrikli battaniye kullanan hamile kadınların bebeklerinde, kullanmayanlara oranla kanser riskinin %30 arttığını göstermiştir.

WHO'ya göre elektrostresle ilişkili olası sağlık sorunları şunlardır [17]:

- Genel yakınmalar: Baş ağrısı, halsizlik, yorgunluk, huzursuzluk, uyku bozuklukları, bulantı.
- Sinir sistemi etkileri: Santral ve sempatik sinir sisteminde fonksiyonel bozukluklar, konsantrasyon bozukluğu, EEG değişiklikleri, terleme eğilimi, parmaklarda titreme, hipotansiyon.
- Kalp/Dolaşım sistemi etkileri: Hipotoni/hipertoni, taşikardi, EKG değişiklikleri.
- Reaksiyon zamanı: Reaksiyon zamanında değişiklikler, uyarıcı etki

2.2.3. Elektromanyetik alanların biyolojik etkileri

Biyolojik etkiler ile yan etkiler arasındaki farkı öğrenmek önemlidir. Biyolojik etkiler, elektromanyetik alanlara maruz kalmanın bir sonucu olarak sistemde ölçülebilir veya önemli fiziksel değişimler olduğunda ortaya çıkar. Yan etkiler ise biyolojik etkiler vücudun tolerans sınırlarını aştığında ortaya çıkar ve sonuçta zararlı etkilere yol açar [3]. Elektromanyetik dalgaların canlı organizmalarda neden olduğu hasarın büyüklüğünü incelerken, vücudun her yerindeki dokuların ve organların katman katman elektriksel davranışını bilmek önemlidir. Bu, bir organizmanın bir elektromanyetik alana yutabileceği toplam enerjiyi hesaplamayı mümkün kılar. İnsan vücudu, kemiklerden ve çeşitli özelliklere sahip çeşitli dokulardan oluşan destekleyici bir iskelet ile derinin dış kabuğundan oluşan çok karmaşık bir yapıdır. Tablo 2.1. bu dış kabuğun ana gövdesinin direncini göstermektedir.

Tablo 2.1. EM dalgaların vücut dokularındaki direnci [23].

Yumuşak dokularda	100 Ω cm
Kemiklerde	900 Ω cm
Yağ dokularında	5000 Ω cm

Ek olarak, kan ve tuzlu sıvı içeren canlı bir vücudun direnci yaklaşık 100 Ω cm ve dielektrik sabiti ($k = \epsilon / \epsilon_0$) 80 olan tek tip bir kütle varsayılabilir. İnsan vücudunu çevreleyen deri iki kısımdır. Alt deri (dermis) canlı dokuları kaplar ve üst deri (epidermis) vücudumuzu çevresel etkilerden korur. Alttaki deri tabakasının elektriksel özellikleri canlı damar dokusuna benzer. Derinin üst tabakası ise en dıştaki ölü hücreler nedeniyle canlı dokudan tamamen farklı elektriksel özelliklere sahiptir. İnsan vücudunda akıma karşı direnç öncelikle deride oluşur.

Tablo 2.2. Değişik tip derilerin gösterdikleri dirençler [23].

Kuru deri direnci	10 ile 600 Ω arasında değişirken
Islak deri direnci	100 Ω
Elden ayağa dahil vücut direnci	400-600 Ω

Görüldüğü gibi insan vücudunun direnci kesin olarak söylenememektedir. Bu değerlerin tamamı istatistiktir. İnsan vücudundaki direnç, üst deri direnci ve damarsal iç gövdedeki dokuların direncinin toplamıdır.

İnsanlar ve diğer canlıların direnci sonludur, bu nedenle elektrik akımını iletirler. Örneğin; 0,02 mA'lık bir elektrik akımı kalpten geçtiğinde canlının ölümüne neden olabilir [23].

Tablo 2.3. Elektrik tehlikeleri bakımından sınıflandırma [23].

42 volt'a kadar olana gerilimlere → emniyetli alçak gerilim
42-1000 volt'a kadar olan gerilimlere → alçak gerilim
1000 volt' dan yukarı olan gerilimlere → yüksek gerilim

2.2.3.1. Biyolojik dokuların elektriksel özellikleri

Vücudun organlarını oluşturan biyolojik maddelerin elektriksel özellikleri türlü nedenlerle uzun yıllardır araştırılmaktadır. 20. yüzyılın başlarında dokuların elektriği ilettiği, direncin frekansla değiştiği ve iletkenliğin iyonların hareketinden

kaynaklandığı açıklandı. Günümüzde kas ve sinir dokusunun elektriksel özellikleri ve dokunun kapasitif özellikleri olarak bilinen polarizasyon kavramı ortaya çıkmıştır.

1948'de Rajewsky ve Schwan, kan dokusunun 1 GHz frekansında karmaşık geçirgenliğini keşfettiler. 1950 ve 1960 yılları arasında, DNA çözücüler ve çeşitli dokulardan proteinler dahil olmak üzere birçok malzemenin dielektrik özellikleri incelenmiştir.

Elektromanyetik dalgaların etkisi altında vücutta ortaya çıkan iç elektrik alanlarının hesaplanmasında, elektromanyetik enerji için tıbbi uygulamaların geliştirilmesinde ve bu elektromanyetik alanların zarar görme potansiyelinin araştırılmasında doku dielektrik özellikleri önemlidir. Canlı dokulardaki dielektrik özelliğinin bilinmesi, gıda işleme, tarım ve birçok çeşit ürünün kurutulması gibi birçok uygulama alanının geliştirilmesinde de önemli bir rol oynamaktadır.

Teorik olarak başlayan ilk çalışmalar, günümüzde bilgisayar destekli olarak devam etmekte, dokuların ve karmaşık yapıların dielektrik özelliklerinin keşfedilmesinde önemli yollar katetmesini sağlamıştır. Dokuların geniş frekans aralıklarında dielektrik özellikleri bilinmektedir. Bu veriler elektromanyetik radyasyonun biyolojik etkilerini analiz etmek için bir başlangıç noktasıdır [23].

2.2.3.2. Biyolojik dokularda değişik frekans aralıklarının etkisi

İnsan vücudu, yakındaki elektrik hatlarından ve elektrikli ekipmanlardan geçen akımın uyguladığı kuvvetlere tepki olarak hareketleri başıboş yükler oluşturur. Bu akımı insan vücudunda üretme süreci, elektrik indüksiyonu ve manyetik indüksiyon olarak bilinir.

Elektrik indüksiyonunda, bir enerji hattındaki veya elektrikli cihazdaki yükler, insan vücudunun serbest yükünü çeker veya iter. Vücuttaki sıvı iyi bir iletken olduğu için, vücuttaki elektrik yükü bu elektrik kuvvetinin etkisiyle vücut yüzeyine doğru

aktarılır. Elektrik hattındaki yük her saniye periyodik olarak değiştiği için insan vücudundaki yükler de değişmektedir.

Mikroskobik seviyede, tüm doku hücre içindeki ve hücre dışındaki sıvılardan oluşur. Hücre, elektriksel olarak farklı iki gruptan oluşur. Bunlar dışta yalıtkan membran, içte ise oldukça iletken sitoplazma ve hücre çekirdeğidir.

Suyun dielektrik sabiti yüksektir ve yağın dielektrik sabiti düşüktür. Deri altı yağ dokusunun su içeriği değiştikçe yağın dielektrik sabitindeki değişiklikler gözlenir.

Aynı özellikler iletkenlik için de geçerlidir. Mikrodalga frekanslarında, yağ dokusundaki fazla su, aşırı iletkenliğe neden olur.

Yüksek su içerikli dokularda, geçirgenlikteki azalma ve yüksek frekanslarda iletkenlikteki artış, hücre zarı boyunca arayüzey polarizasyonundan kaynaklanmaktadır. Yaklaşık 1 MF/cm^2 kapasiteli yüzey membranları yalıtkan bir tabaka işlevi görür, bu nedenle elektrik yalnızca hücre dışı ortama akar. Bu, yüksek frekanslarda iletkenlikteki düşüşü açıklamaktadır.

Düşük su içeren dokuların dielektrik davranışı yüksek su içeren dokuların dielektrik davranışına nicel olarak benzer. Fakat ϵ_r dielektrik sabitinin ve σ iletkenliğinin değerleri biraz daha düşüktür. Su yağa göre yüksek dielektrik sabiti ve iletkenliğe sahip olduğu için net doku dielektrik sabiti ve iletkenliği, su miktarındaki küçük değişikliklerle birlikte önemli ölçüde değişecektir.

Mikrodalga frekanslarda su oranları farklı, çeşitli dokuların elektriksel özellikleri Tablo 2.4. ve 2.5.'de toplanmıştır.

Tablo 2.4. Yüksek oranda su bulunduran dokular [23].

Frekans (MHz)	Havadaki Dalgaboyu (cm)	Dielektrik Sabiti ϵ	İletkenlik σ mho/m	Dalga boyu λ (cm)
1	30000	2000	0.400	436
10	3000	160	0.625	118
27.12	1106	113	0.612	68.1
40.68	738	97.3	0.693	51.3
100	300	56.5	0.889	27
200	150	54	1.28	16.6
300	100	53	1.37	11.9
433	69.3	52	1.43	8.76
750	40	51	1.54	5.34
915	32.8	49	1.60	4.46
1500	20	47	1.77	2.81
2450	12.2	46	2.21	1.76
3000	10	44	2.26	1.45
5000	6	43.3	3.92	0.89
58000	5.17	40	4.73	0.578
8000	3.75	39.9	7.65	0.578

Tablo 2.5. Düşük oranda su bulunduran dokular [23].

Frekans (MHz)	Havadaki Dalgaboyu (cm)	Dielektrik sabiti ϵ	İletkenlik σ mho/m	Dalgaboyu λ (cm)
1	30000			
10	3000			
27.12	1106	20	10.9-43.2	241
40.68	738	14.6	12.6-52.8	187
100	300	7.45	19.1-75.9	106
200	150	5.95	25.8-94.2	59.7
300	100	5.7	31.5-107	41
433	69.3	5.6	37.9-118	28.8
750	40	5.6	49.8-138	16.8
915	32.8	5.6	55.5-147	13.7
1500	20	5.6	70.8-171	8.41
2450	12.2	5.5	96.4-213	5.21
3000	10	5.5	110-234	4.25
5000	6	5.5	162-309	2.63
5800	3.17	5.05	186-338	2.29
8000	3.75	4.7	225-431	1.73
10000	3	4.5	324-549	1.41

Elektromanyetik dalganın dalga boyu, dokularda yüksek dielektrik sabitini nedeniyle önemli miktarda azaldığı görülür. Su oranı yüksek olan dokularda azalma katsayısı 6,5 ile 8,5 arasında yani yüksek bir değerde ve su oranı düşük olan dokularda ise, 2 ile 2,5 arasındadır. Dokularda ısıya dönüşen büyük bir enerji yutulmasına neden olan dalga boyundaki bu azalmadır.

Tablo 3.4. ve 3.5.'deki, 27.12, 40.68, 433, 915, 2450 ve 5800 MHz frekanslı elektromanyetik dalgalar, tıbbi ve endüstriyel amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, çok düşük ve çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalara maruz kalan canlı dokuların elektriksel niteliklerinin frekansa bağlı olarak değişiminin önemli bir nedeni, dokulardaki su oranı ve membranın kapasitif özelliğidir.

2.2.4. Radyo frekans (RF) alanların etkisi

Radyo frekanslı elektromanyetik cihazların kullanımına yönelik artan talep nedeniyle, bu alandaki mesleki çalışanlar ve halk sağlığı açısından, RF'ye maruz kalmanın olası zararlarını inceleyen araştırmalar önemli hale gelmiştir. Örneğin, FM radyo ve televizyon vericisi istasyonlarının bakımı genelde yayın kesilmeden yapıldığından, bu bakımı yapan personel 40 kW güçlü bir verici için 800 V/m şiddetinde alana maruz kalır. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışmada RF yayınlarının ortamda 0.005 mW /cm²'lik enerji yoğunluğuna sebebiyet verdiği belirtilmiştir. RF ve UHF (Ultrahigh frequency) alanları, insan vücudunda vücudun dış yüzeyinde olduklarından dolayı gözün ve üreme organlarının üzerinde en önemli etkilere sahiptir. Bununla birlikte, vücut yüzeyine çok yakın olmasalar bile, iletken sinirler ve kardiovasküler sistem üzerine de etkilidirler [23].

2.2.5. İnsan vücudunda RF radyasyonun oluşturduğu başlıca etkiler

2.2.5.1. Termal etkileri

Biyolojik materyallerde RF enerjisinin absorbe edilmesinin en önemli etkisi ısınmadır. Vücut sıcaklığındaki maksimum artış ciltte, vücudun dış yüzeyinde meydana gelir ve lokal yanıklara neden olabilir. Vücudun derinliklerine indiğinizde vücut ısısı düşer. Bununla birlikte, uzun dalga radyasyona maruz kaldığında kas sıcaklığının belirgin bir şekilde arttığı bildirilmiştir. İç organların ve kanın sıcaklığı da yükselir. 40-100 mW/cm² yoğunluğa sahip bir alanda kan damarları ciddi şekilde hasar görür ve iç organlarda kanamalar meydana gelir. Bazı organlar aşırı ısınmadan da zarar görebilir. Bu durum boyutsal rezonans adı verilen bazı organizmalarda özellikle fark edilir. Elektromanyetik ısınmaya maruz kalan bazı organların boyutları dalga boyuna yakınsa, o bölgede duran dalgalar görünebilir. Ayrıca vücudun farklı bölgelerine cerrahi olarak yerleştirilen metaller RF enerjisini artırabilir.

2.2.5.2. Göz üzerine etkiler

UHF alanında çalışanların, önemli derecede gözde zararlı etkisi görülmesine rağmen Radyo frekans istasyonlarında çalışanlarda ve radar operatörlerinde, gözde zararı görülmemiştir. Sovyet yazarlar, santimetre başına birkaç mW mertebeli yoğunlukta, kronik ışıma, insan gözünde opacite oluşturmaya yeteceğini bildirmişlerdir. İlk belirtiler olarak göz yorgunluğu ve gözyaşı, mavi ışığa duyarlılığın azalmasıdır. Düşük yoğunluklarda mercekte ve iç duvar sıvısındaki C vitamininde azalma görülmüştür.

2.2.5.3. Sinir sistemi

Radyo frekansı alanında çalışanların şikayetleri özellikle sinir sistemiyle alakalıdır. Bunun için merkezi sinir sistemindeki değişikliklerle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Büyük ve küçük alanların yoğunluğunu ve RF ve UHF alanlarının merkezi sinir sistemi işlevi üzerindeki etkilerinin araştırılması için yapılan klinik ve

laboratuvar çalışmalarında EEG'de değişiklikler tespit edilmiştir. Araştırmalar uzun zaman aralıklarında yapılmıştır. EEG muayenesi, elektromanyetik dalgaların neden olduğu CNS'nin (Kardiyovasküler Nörolojik Sendrom) etkisini incelemeye yardımcı olur. Düşük yoğunluklu RF ve UHF alanları kırılma sendromu adı verilen değişikliklere neden olabilir. Şiddetli UHF ve RF alanlarında, kardiyovasküler vejetatif düzenleyici şeklinde ortaya çıkan kırılma sendromu oluşur.

2.2.5.4. Üreme ile ilgili dokular

Gözler ve sinir sistemi dışında, üreme organları radyo frekans alanlarına çok duyarlıdır. Santimetre dalga bölgesinde yüksek alan yoğunluğu altında bariz değişiklikler meydana gelmektedir. Bu yoğunluklardaki ana etki üreme organları üzerindeki termal etkidir. Bu organların (erkek ve dişi) sıcaklıklarının artması, morfolojik değişikliklere ve olası dejenerasyon süreçlerine yol açar ve besleyici üreme organlarının vazokonstriksiyonu doğrudan yumurtalıklara veya testislere zarar vermektedir. Histolojik çalışmalar, işlemin tüm aşamalarında sperm oluşumunun durduğunu göstermiştir. Bu morfolojik değişiklikler üreme döngüsünde yavru sayısında azalma, kısırlık ve kadın doğumu sayısı artışı olarak görülmektedir.

Radyo frekansın hamile kadınların düşük oranlarında artışa yol açtığı bilinmektedir. Literatürde hamileliğin erken dönemlerinde kısa dalga diatermi tedavisi alan annelerin fetüslerinde embriyonik hastalıklara sahip olacağına ve doğumda normal insanlara göre kemikleşme olmaması gibi anormalliklerin görüldüğüne dair raporlar bulunmaktadır.

2.2.5.5. Dolaşım sistemi

Yüksek yoğunluklu radyo frekans alanlarına düzenli şekilde maruz kalmak dolaşım sistemi üzerinde değişikliklere neden olabilir. Bozulmuş kan dolaşımı, özellikle maruz kalma süresi ve şiddeti ile orantılı olarak artan kan akışına, vazodilatasyona ve kan basıncında değişikliklere neden olabilir. Önce kan basıncı hafif şekilde yükselir daha sonra düşer. Kan basıncındaki bu düşme, maruz kalmadan sonraki haftalar bile

devam edebilir. Kalp atış hızı değişebilir. Maruz kalan vücut kısmına göre, nabızda hızlanma veya yavaşlama olabilir. Elektrokardiyogramda kalp aktivitesindeki değişiklikler gözlenir. EKG, RF alanının koroner dolaşım sisteminin iletkenliğini azaltacağını belirlemiştir. Başka bir gözlem olarak, örneğin kan damarı geriliminin salınımı gibi kan damarı tepkisinden sapmadan söz edilebilir.

Bu dolaşım fonksiyonlarındaki değişiklikler geri dönüşümlüdür, ancak diğer fonksiyonlar normale dönmüş olsa bile EKG'deki değişiklikler devam edecektir.

2.2.5.6. RF alanlarının diğer organlar üzerindeki etkileri

Dolaşım sistemi üzerindeki etkilerinin solunumun hızlanmasına ve bazen de gecikmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Birçok çalışma böbreklerin, adrenal bezlerin ve karaciğerin etkilerini araştırmıştır. Renal kanal filtrasyonunun azaldığı, adrenal korteks aktivitesinin arttığı ve karaciğer hücrelerinin dejenere olduğu anlaşılmaktadır. Radyofrekans alanında çalışan kişilerde (özellikle bayanlarda) guatr görülür. Tiroid çalışmasında radyoaktif iyot artışı bulunmuştur.

Organizmalardaki belirli vücut bölümlerinin boyutu rezonansa neden olabilir. Bu durum organlarda kısmi hasara neden olabilmektedir [23].

2.2.6. Çok düşük frekanslı (ELF) alanların etkileri

Çok düşük frekans (ELF) alanlarının ana kaynakları, yüksek gerilim hatları (YGH), bina elektrik tesisatları, transformatörler, ev tipi saç kurutma makineleri ve çamaşır makineleri gibi elektrikli ekipmanlardır. Elektromanyetik alanlar ölçülürken kullanılan ekipman veya mod seçilirken, çok düşük frekanslı kaynak alanlarının özellikle hangilerinin manyetik alan kaynakları ve hangilerinin elektrik alan kaynakları olduğunu ayırt etmek gerekir. Manyetik alan, elektrik akımının geçmesi ile oluşur ve elektrik alanı, elektrik yükünün tek bir yerde birikmesiyle oluşur (bu birikim, potansiyel farkıyla açıklanır). Evde kullandığımız elektrikli aletlerin çoğu manyetik alan kaynakları olmasına rağmen, elektrik şebekeleri özellikle elektrik alan

kaynaklarıdır, ancak aynı zamanda akımın akışı nedeniyle manyetik alan kaynakları haline gelirler. Ölçüm yapılırken bu ve benzeri hususlar dikkate alınmalıdır.

Evlerdeki elektrik ve manyetik alanların frekansı 50 Hz ve dalga boyu 6000 km'dir. İnsan vücudunun çevresinde; ELF alanı ile yakın alan etkileşiminde, vücut elektrik alanını bozabilir, ancak manyetik alanı bozamaz. Ancak bu iki alan vücudun ayrı bölgelerinde farklı elektrik alanları ve akım indüksiyonlarına neden olur.

Çok düşük frekans (ELF) alanı yeterince güçlü olduğunda, insan dokularında indüklenen elektrik alanları ile akımlar; sinir ve kasta uyarım ve elde uyuşmaya neden olabilir. Ortamda bulunan elektrik ve manyetik alanlar çok düşükse, bu tür şiddetli etkiler görülmeyecektir. Sinir sisteminde bu etkileri önlemek için insan vücudunda biyolojik etkileşimlere çok düşük frekanslarda izin veren maksimum indüklenen akım yoğunluğunun seviyesini 2mA/m^2 eşik kabul edilmiştir [24].

Ev aletlerinin ürettiği elektrik alan şiddeti 1-250 V/m arasında değişmektedir. Elektrikli ev aletlerinin neden olduğu elektrik alan haricinde, normal ortamda atmosferde 1120-150 V/m elektrik alanı olmasına rağmen, yıldırımlı havalarında değer 10 kV/m'ye ulaşır. Ancak canlılar üzerindeki en önemli etki, çevre için elektrik alan kaynakları oluşturmaları nedeniyle yüksek gerilim hatları ve transformatörlerden gelmektedir. Yüksek gerilim hattının maksimum gerilimi 750 kV olduğundaki alan şiddeti, hattın yerden yüksekliğine bağlı olarak 1-12 kV/m arasında olabilir. Yüksek gerilim hatlarının yapımında uygulanan usul ve esaslara ilişkin, hatların yerleşim yerlerinin dışında kurulması gerekmesine rağmen, günümüzde yerleşim yerlerinden geçmekte olan hatlar insanların sağlığı için tehlike arz etmektedir. Halk sağlığı için bu hatlarının oluşturduğu elektrik alanların sınır değerleri ve bu alanlarda kalış süreleri gelişmiş ülkeler tarafından güvenlik standartları ile belirlenmiştir [25].

Bazı epidemiyolojik ve deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir. Amerika Birleşik Devletleri Teknoloji Değerlendirme Bürosu'nun iletim hatlarının oluşturduğu elektrik ve manyetik alanların halk sağlığındaki etkisine

ilişkin raporda, elektrik ve manyetik alanlar ile hücre arasındaki etkileşimin hücre zarında olduğunu, bir elektromanyetik alanın vücudun elektriğinde küçük işaret değişikliklerinde dahi hücre fonksiyonunda önemli kimyasal değişikliklere neden olması için yeterli olduğu belirtilmiştir. Büyüme işlemini yapan hücreleri etkilemekte ve özelliklerine zarar vermektedir [26].

Wertheimer ve Leeper, 1979'da ELF-EMA'nın çocukluk çağı kanserini artırabileceğini gösterdikten sonra, ELF-EMA'ların olası biyolojik etkilerini incelemek için birçok çalışma yapılmıştır. İnsanları içeren çalışmalarda, ELF-EMA maruziyetinin olası en önemli etkisi çocukluk çağı lösemisidir [27].

Yine Wertheimer ve Leeper; 1950 ile 1973 yılları arasında Kolorado'da doğan ve Denver bölgesinde yaşayan ve 19 yaşına gelmeden kanserden ölen kişileri dahil etmiştir. Çalıştığı grup, doğdukları tarih ve yerleri işaretlenmiş 344 kanser ölümü ile 355 denekten oluşmuştur. 472 kontrol ünitesi ile 491 kanser hastasının konutu karşılaştırılmıştır. Yüksek ve düşük akım taşıyan çeşitli YGH rotalarında, deneğin evinin 40 metrelik menziline, 60 Hz frekanslı bir manyetik alanın etkisi değerlendirilmiştir. Manyetik alan ölçümleri güç hattı çevresinde yapılmıştır. Yüksek akım hatlarına; kanser hastaları evleri kontrol deneklerine ait evlerden çok daha yakın olduğu bulunmuştur. En önemli farkı, ölüm zamanına kadar aynı adresteki 128 kontrol deneğinin ile 109 vaka arasında meydana gelmiştir. Sinir sistemi, lösemi ve lenfoma tümörlerinin üçte ikisinden fazla olduğu anlaşılmıştır [27, 28].

Sağlık etkisi açısından nörolojik hastalıkların ve beyin fonksiyonların önemi vurgulanmıştır. Yüksek enerji hattının 500 metre üzerinde yaşayanlara göre; 100 metrenin altında yaşamanın majör depresyon riskini 4,7 kat artırdığı ve 50 metrenin altında yaşamanın ise majör depresyon riskini 9,42 kat artırdığı bildirilmektedir [29]. Bu çalışmanın aksine, 25-53 yaşları arasındaki Japonya'da yaşayan 223 kadında yapılmış olan bir çalışmada, yüksek gerilim hattına yakın bir evde yaşamanın ruh sağlığıyla önemli bir ilişkisi olmadığı bulunmuştur [30]. Başka bir araştırmada ise intihar etmeyle mesleki elektromanyetik alana maruz kalma arasında anlamlı bir

ilişki bulunmuş ve özellikle elektrik nakil hattı çalışanları ile 50 yaş altı erkeklerdeki risk faktörünün daha yüksek olduğu bildirilmiştir [31].

Ahlbom, Day ve Feycting, araştırmalarında 0,4 μ T ve üzeri ELF-EMA'ya maruz kalmanın lösemi riskini iki katına çıkardığını göstermişlerdir [32].

ELF-EMA maruziyetinin hamile kadınlar üzerindeki olası etkilerini inceleyen çalışmalarda, 10 haftadan kısa gebeliklerin düşük yapma riskinin daha yüksek olduğu bulunmuştur [33].

Almanya'da 1995'ten 1997'ye kadar 15-69 yaş arası erkekler üzerinde yapılan bir çalışmada, yüksek gerilimli hat maruziyeti ile testis kanserine yakalanmada anlamlı bir ilişki bulunmamış, ancak 40 yaşından genç erkeklerin insidansının biraz arttığı bildirilmiştir [34].

İsviçre'de yapılan bir çalışmada elektromanyetik alerji sıklığı %5 olarak bulunmuştur. Araştırmalar en sık görülen atakların uyku bozuklukları ve baş ağrıları olduğunu göstermiş ve maruziyetin en fazla elektrik hatları ve cep telefonların neden olduğu bildirilmektedir [35].

İran'da yapılan bir başka araştırmada, yüksek gerilim hatlarına 500 metre mesafe içinde büyüyen çocukların lösemi riskindeki oranı 8,8 kat, ortalama 0,45 μ T'nin üzerinde maruz kalmanın ise 3,6 kat artırdığı bildirilmiştir [36].

Yapılan araştırma ELF EMA'nın sağlığa etkilerini ortaya koyduğundan, Uluslararası Kanseri Araştırmaları Merkezi (IARC) son derece düşük frekanslı manyetik alanları insanlarda sınırlı kanıtta kanserojen ve hayvan deneylerinde yeterli olarak tanımlanan grup 2B olarak sınıflandırmaktadır [37].

BÖLÜM 3. YER ALTI KABLOLARI

3.1. Tanımı

Elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında havai hatlar ve yer altı enerji hatları kullanılmaktadır. Açık arazilerdeki uzun mesafeli elektrik iletim hatları havai hat olarak, nüfus ve sanayi yoğunluğu fazla olan bölgelerde ise yer altı hatları olarak kurulurlar. Yer altı enerji hatları yer altı kablolarından meydana gelmektedir. Yer altı kabloları, izolasyon malzemeleri ile kaplanmış, bir ya da birden fazla iletkenin, elektrik akımını sağlaması için yer altından geçirilen güç kablolarıdır.

3.2. Yer Altı Kablolarının Başlıca Özellikleri, Avantajları ve Dezavantajları

Yer altı kablolarının üretiminde bükülmüş bakır veya yüksek iletkenli alüminyum kullanılmaktadır. Bükülen kablo hem esneklik bakımından hem de voltaj kapasitesi açısından daha etkili bir kullanım sunar. Kablo seçimi, kablonun cinsi, iletken büyüklüğü, ısınma derecesi, aşırı yüklenme payı göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. İzolasyonu taşınacak voltaj değerlerine uygun kalınlıkta olmalıdır. Kablonun serileceği alan, gerekli düzenekler ile korumaya alınmış olmalıdır. Uzun süreli ve yüksek kapasiteli iletim ihtiyacı duyulan alanlar için en uygun kablo seçimi yer altı kablolarıdır. Enerji aktarımının kesintisiz bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Voltaj dalgalanmaları diğerlerine oranla daha düşüktür. Uzun süreli kullanım ömrü sunmaktadır. Mimari açıdan bir bozukluk yaratmaz, şehir merkezlerinin görünüş estetiği bozulmadan tesisler kurulabilir. İletim ve dağıtım yolu olarak yer altı kullanıldığı için üst yüzeyde herhangi bir donanıma (direk, izolatör vs.) ihtiyaç duyulmaz. Olumsuz hava koşullarından (yıldırım, kar, fırtına vb.) etkilenmezler. İşletme ve can güvenliği açısından hayati tehlike riski oldukça azdır. Yerleşim yerlerinde, havai hatta göre daha güvenlidir. Kaza olma ihtimali azdır. Ancak havai

hatlara göre kurulum maliyeti daha yüksektir ve kabloda meydana gelen arızaların tespit edilmesi ve onarılması daha zordur.

3.3. Yer Altı Kablolarının Çeşitleri

Yer altı kabloları, anma gerilimine bağlı olarak alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilim kabloları olarak ayrılırken, iletkenin yapılmış olduğu malzemeye bağlı olarak bakır ve alüminyum kablolar, yalıtkan malzemesine bağlı olarak ise termoplastik yalıtkanlı (PVC) ve termoset yalıtkanlı (çapraz bağlı polietilen, XLPE) kablolar olarak üç ana başlık altında toplanmaktadır [38].

3.4. Yer Altı Kablolarının Kablo ve İletken Yapısı

Yer altı kablolarının yapısı, tanımı ve işlevleri şu şekilde maddeler halinde açıklanabilir.

- Damar: Bakır veya alüminyumdan yapılan, kablolun yalıtılmış halde olan iletkenidir.
- Kablo iletkeni: Elektrik enerjisinin iletildiği tel veya tel grubuna denir. Genelde bakır iletken, bazı çeşitlerde ise alüminyum iletken kullanılır. Damar iletkeni, çok telli veya bir telli (som) iletken olarak tasarlanır. Som iletken, dairesel veya şekillendirilmiş bir tek telden oluşan iletkene denir. Çok telli iletken, tamamı veya bir kısmı sarmal olarak sarılmış olan birden çok telden oluşan iletkene denir. Çok telli iletkenlerde teller iletken çapını azaltmak için teller şekillendirilerek bir araya getirilirler. Bu yüzden bu iletkenlere sıkıştırılmış iletken de denir. Sıkıştırılmış iletkenler dairesel ya da kesme kesitinde üretilir. Yer altı kablolarının iletken anma kesiti: 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400 ve 500 mm² olarak üretilmektedir.
- Çok Damarlı Kablo: Damar sayısının birden çok olduğu kabloya denir.
- Yalıtkan Kılıf: İletkeni ilk olarak yalıtkan ve damar iletkenini saran kılıfa denir. Bu yalıtkan kılıfın yapımında kullanılan malzemeye göre kablolar adlandırılır. PVC ve XLPE kablolar gibi.

- Ortak Dolgu ve Ortak Kılıf: Ortak dolgu, çok damarlı kablolarda, damarlar arası boşlukların doldurulması ve damar demetine istenilen şekli vermek için yapılır. Dolgu malzemesi için pamuk veya yapay yün iplik, lastik veya termoplastik maddeler kullanılır. Ortak kılıf, ortak dolgu yerine güçlendirilmiş olarak uygulanan yalıtma ve koruyucu özelliği olan kılıftır. Ortak kılıf, çekme kılıfı veya sargı kılıfı olabilir. Ortak kılıfın üstüne bakır sargı, metal kılıf ve siper veya zırh uygulanabilir. Ortak kılıf üzerine yarı iletken siper, ayrıca ortak kılıf üzerinde metal siper veya siper görevini yapan zırh bulunan kablolarda, ortak kılıf yarı iletken malzemeden yapılır.
- Kör Damar: İletken bulundurmayan bu damar, çok damarlı kablolarda, damarlar arası boşluğu doldurmak ya da kabloya uygun bir şekil verilebilmesi için kullanılan yalıtkan bir malzemedir. Yalıtkan malzeme olarak genelde ip kullanılmaktadır.
- İç Kılıf: Zırhlı kablolarda, zırhın altında bulunan ve zırha destek veren koruyucu kılıfa denir.
- Ayraç Kılıf: Kablo kılıflarının birbirine olan etkileşimini önlemek için kılıflar arasında bulunan ince bir çekme koruyucu kılıftır.
- Dış Kılıf: Kablonun en dışındaki kılıftır ve kabloyu dış etkilere korur. Dış kılıf yalıtkan özellik taşımamaktadır.
- Kurşun Kılıf: Yalıtıcı ve koruyucu kılıflar nem çekme özelliği varsa, (örneğin yağ emdirilmiş kağıt gibi) kabloyu nemden korur. Ortak kılıf üzerine uygulanan bu kılıf mekanik ve hafif kimyasal etkilere de korumaktadır. Kurşun kılıf üstünde PVC dış kılıfı bulunduran kablolar, patlama ve yangın gibi sakıncaların olduğu akaryakıt istasyonlarında kullanılmaktadırlar.
- Sarmal Bakır İletken (Konsantrik İletken): Tek damarlı kabloda yalıtkan kılıfın, çok damarlı kabloda genelde ortak kılıfın üstüne uygulanır. Adı üstünde bakır tel veya şeritten sarmal olur. Sarmal bakır iletkenler, metal siper görevini de görür. Sarmal bakır iletkenler, nötr iletkeni olarak ve temasa karşı koruma amaçlı kullanılırlar.
- Siper (Ekran): Amacı kablo yalıtkanı içindeki elektrik alanı sınırlandırmaktır. Her bir damarın veya ortak kılıfın üstüne uygulanır. Metal olarak bakır veya

metal olmayan yarı iletken malzemelerden oluşan bir kılıftır. Bu siper, her bir damar üstüneyse bireysel siper, ortak kılıf üstüneyse ortak siper adını alır.

- Yarı İletken Siper: Anma gerilimi 3,5/6 kV ve daha büyük olan kablolarda her bir faz iletkeninin ve yalıtkan kılıfın üstünde yer alan yarı iletken maddeden yapılan siperdir.
- Metal Siper: Her damarın veya ortak kılıfın üstüne gelen sargıdır. Bakır tel veya şeritten imal edilir. Anma gerilimi 3,5/6 kV ve daha büyük olan kablolarda bulunur.
- Çelik Zırh: Kabloyu mekanik etkilerden koruyan zırhtır. Ortak kılıfın üstüne ve genelde dış kılıfın altına uygulanır. Şerit, yuvarlak veya yassı çelik tellerden oluşan sarmal sargıdır. Bu zırh, sarmal bakır iletkenin veya metal siperin üstüne uygulanacaksa, zırhın altında iç kılıf olmalıdır.
- Tutucu Sargı: Tutucu sargı, metal veya zırhın üstünde bulunur ve bunların dağılmasını önleyen bakır veya galvaniz çelik şeritle ya da plastik şeritle imal edilmiş sargılardır [38].

3.4.1. 20,3/35 kV XLPE izoleli tek damarlı orta gerilim güç kablosu iç yapısı ve özellikleri



Şekil 3.1. Tek damarlı XPLE kablo iç yapısı [39].

Şekil 3.1.'de XLPE kablonun yapısı iç katmandan dışa doğru bakır iletkeni, iç yarı iletkeni, XLPE izolesi, dış yarı iletkeni, yarı iletken bantı, bakır siperi, bakır tutucu bantı, polyester bantı ve PVC dış kılıfı görülmektedir.

Bu kablolar TS IEC 60502-2, TSE K 204 Teknik Şartnamesi, VDE 0276 standartlarına göre üretilirler. 20,3/35 kV anma gerilimine sahiptir. Çok telli, bakır iletkenli, dielektrik kayıpları çok küçük protothen-x yalıtkanlıdır. Elektrik alanını homojenleştirici özel iç ve dış yarı iletken katmanlıdır. Yüksek kısa devre akımlarına karşı uygun kesitte ve özel olarak ilave edilmiş bakır ekranlı, protodur dış kılıflı tek damarlı orta gerilim enerji kablosudur. Maksimum çalışma sıcaklığı 90°C'dir. Müsaade edilen maksimum kısa devre sıcaklığı 5 saniye için 250°C'dir [39]. Ağır işletmelerde, yer altı enerji iletiminde, trafo merkezlerinde, şalt sahalarında, ve endüstri tesislerinde topraklı kablo kanallarında kullanılmaktadırlar.

Tablo 3.1. 20,3/35 kV XLPE izoleli tek damarlı kabloların elektriksel özellikleri [39]

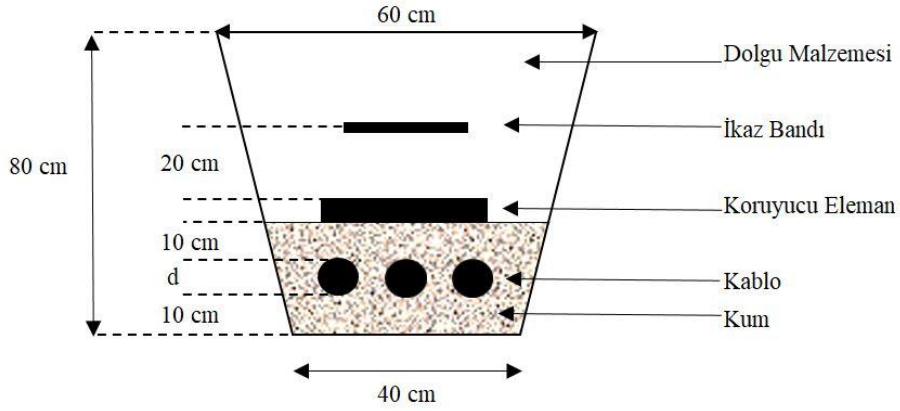
Boyut	Elektriksel Bilgiler			
Nominal Kesit (mm ²)	20 °C'de maks. iletken direnci (ohm/ km)	İletken başına endüktans (yaklaşık) (mH/km) ***	İşletme kapasitesi (yaklaşık) 20 °C 'de (mikrofarad/km)	20 °C'de Akım taşıma kapasitesi toprakta (yaklaşık) (A) ***
1x35/16 rm	0,524	0,77	0,11	200
1x50/16 rm	0,387	0,75	0,12	240
1x70/16 rm	0,268	0,71	0,13	300
1x95/16 rm	0,193	0,69	0,15	360
1x120/16 rm	0,153	0,66	0,16	420
1x150/25 rm	0,124	0,64	0,17	475
1x185/25 rm	0,0991	0,63	0,18	542
1x240/25 rm	0,0754	0,6	0,2	590
1x300/25 rm	0,0601	0,59	0,21	620
1x400/35 rm	0,047	0,57	0,23	670
1x500/35 rm	0,0366	0,55	0,26	770
1x630/35 rm	0,0283	0,52	0,29	850

rm: Bükülü iletken

TEDAŞ Orta Gerilim Çapraz Bağlı Polietilen (XLPE) Yalıtkanlı Enerji Kabloları Teknik Şartnamesi; 3,6/6 (7,2) kV – 6/10 (12) kV – 8.7/15 (17,5) kV ve 20,3/35 (42) kV anma gerilimlerindeki XLPE yalıtkanlı enerji kablolarının teknik özelliklerini, deneylerini ve temin edilme şartlarını barındırmaktadır.

3.5. Yer Altı Kablolarının Montajı

Coğrafi bozukluklar, iklim koşullarının elverişsiz olması, çeşitli güvenlik önlemleri, stratejik çalışmalar, estetik görünüm gibi pek çok sebepten dolayı yer altı kablosunun kullanımı ön görülmektedir. Yer altı kablolarının montaj ve kazı işlerinden önce, konum olarak olabildiği kadar kabloyu tehlikeye atmayacak şekilde; kanalizasyon, su, doğalgaz, petrol boruları ile telekomünikasyon kablolarının bulunmadığı yerlerden sokak ve caddeler seçilmelidir. Kablonun serileceği yer ısı, kimyasal ve mekanik etkilerden olabildiği kadar uzak olmalı ya da bunlara karşı korunaklı olacak şekilde yerleştirilmelidirler.



Şekil 3.2. Standart kablo kanalı

Şekil 3.2.'de olduğu gibi standart kablo kanalında derinlik 80 cm, dip genişlik 40 cm ve ağız genişliği 60 cm olacak şekilde hazırlanmalıdır. Kanala serilecek kabloların; kanal-kablo arası ve kablo-kablo arasında en az 7 cm mesafe olmalıdır. Kanal yüksekliği olarak yolun veya trotuarın kaplamasının üst kotu esas alınmaktadır [40].

Kablolar kanala serilmeden önce; kablo kanalı, yol geçişleri ve kablo girişlerinde biriken sular tahliye edildikten sonra tane büyüklüğü 3 mm olan ince elenmiş kum yerden yüksekliği 10 cm olacak şekilde serilerek sıkıştırılır. Kullanılan kum kesinlikle deniz kumu olmamalıdır. Deniz kumu içerisinde çeşitli mineral tuzlarını barındırdığından kabloların deformesine ve arızalanmasına neden olacağından dere kumu veya konkasör kırma kumu kullanılacaktır. 10 cm yüksekliğinde kum serildikten sonra kablo çekme makinası ve makaralar yardımıyla kablolar kanala

döşenecektir. Kablolar tek, çift veya daha fazla devre sayısına göre yan yana veya üst üste sıralanacaktır. Kabloların arasına her metrede bir harman tuğla veya aynı ebatlarda 200 doz betondan yapılmış malzeme konularak birbirleri arasındaki 7 cm'lik mesafe korunmuş olmalıdır. Kablolar serildikten ve yanlarındaki boşluklar kumla doldurulduktan sonra kablonun üstüne 10 cm ince kum serilerek sıkıştırılır. Daha sonra 6 cm kalınlığında harman tuğla veya 200 doz betondan kalıplara dökülmüş beton malzeme kanal enine olmak üzere (enine 2 adet) dizilecektir. Tuğla üzerine 20 cm tuanen (çakıllı kum) malzeme serilip iyice sıkıştırılarak ileride kanalın çökmesine neden olunmayacaktır. 20 cm serilen malzemenin üzerine kalınlığı 0,1 mm ve genişliği en az 120 mm olan kırmızı ve üzeri uyarıyla yazılı ikaz bandı serilir. İkaz bandı üzerine yüzeye 5 cm kalıncaya kadar yine tuanen malzeme serilir. 5 cm asfalt veya karo döşeme payı bırakılır ve kaldırımlardan sökülen kaplamanın aynısı, asfalt ise kaplaması yapılarak yol eski haline getirilir.

Gerilim seviyesi 36 kV ve altında olan elektrik dağıtım şebekelerinde kullanılan kablolarının montajları TEDAŞ Elektrik Dağıtım Şebekeleri Enerji Kabloları Montaj (Uygulama) Usul ve Esasları'na göre yapılmaktadır.

3.6. Yer Altı Kablolarının Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar

Yer altı kablolarını, kabloların anma gerilimi, gerilim düşümü, kablo direnci, endüktans ve kapasitans gibi sabit değerleri, kablonun kısa devre dayanımı ve yük akımı gibi özelliklerine göre değerlendirilerek seçim yapılır. Kablo seçiminde dikkat edilmesi gereken bu özellikler aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

- Anma Gerilimi: Yer altı kablolarında anma gerilimi U_0 / U şeklinde gösterilmektedir. Buradaki U_0 bir faz iletkeni ile toprak arasındaki gerilimi kV olarak etkin değerini ifade etmektedir. U ise çok damarlı kablolar veya üç fazlı tek damarlı üç kabloda iki faz iletkeni arasındaki gerilimin kV olarak etkin değerini ifade etmektedir. Kabloların anma gerilimleri $U_0 / U = 0,6/1 - 1,8/3 - 3,6/6 - 6/10 - 8,7/15 - 20,3/35$ 0 kV ve daha yüksek değerlerdedir. Tek fazlı veya üç fazlı tesislerde, belli bir anma gerilimine göre üretilmiş

kabloların izin verilen maksimum işletme gerilimi standartlar tarafından belirlenir. Üç fazlı bir kablo kullanıldığında maksimum işletme gerilimi, anma gerilimi 0,6/1 -1,8/3- 3,6/6 -6/10 -8,7/15 kV olan bir kabloda, anma geriliminin 1,15 katını ve anma gerilimi 20,3/35 kV olan kabloda ise 1,20 katını geçmemelidir.

- Kablo Sabiteleri: İletim hattında akım, gerilim ve güç arasındaki ilişkiyi hesaplamak için kullanılan ve kablonun özelliklerine göre değişen direnç, endüktans ve kapasitans değerlerine kablo sabiti denir. İletim hattının işletme geriliminin büyüklüğüne bağlı olarak bu sabitlerin bir kısmı çok küçük değerlere inecektir. Bu nedenle bazıları dikkate alınmayabilir. Kilometre başına kablo sabitinin değeri bir formül kullanılarak hesaplanabilir veya kablo kesitine göre üreticinin kablo kataloğundan kolayca bulunabilir.
- Yük Akımı: Kablo kesiti, standartta belirtilen veya üretici tarafından bildirilen yük koşullarına göre belirlenir ve yük akımına, çeşitli kablo tiplerine, döşeme koşullarına ve çevre koşullarına bağlıdır. Kablonun akım taşıma kapasitesi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar, izin verilen iletken sıcaklığı, kabloda oluşan ısıyı etkin bir şekilde dağıtmak için ortam koşulları (toprağın ısı direnci vb.), tek damarlı veya çok damarlı kablo olması, kablonun havada ya da yer altına serilmiş olması, kablo serilme yöntemi ve kablo ısı direnci olarak sıralanabilir. Bu hesaplamalar yapılırken ilgili standartlardaki kablo ile ilgili tablolar kullanılır.
- Kısa Devre Dayanımı: Kablolar, kullanıldıkları şebekede oluşacak kısa devre akımlarına dayanabilmelidir. Kablonun kısa devre direnci hesap yapılmalıdır. Kısa devre nedeniyle PVC izoleli kablonun kablo iletkeninin maksimum sıcaklığı 160 °C, XLPE kablosunun maksimum sıcaklığı 250 °C olmalıdır.
- Gerilim Düşümü: Elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımı için kullanılan kablonun kesiti belirlenirken, izin verilen gerilim düşümü yüzdesi dikkate alınmalıdır. Kablo gerilim düşümünden hesaplanan direncin yanı sıra kablonun endüktans değeri de dikkate alınmalıdır. İzin verilen gerilim düşümü değeri; alçak gerilim dağıtım şebekelerinde ve hatlarında %5'ten, orta gerilim şebeke ve hatlarında %10'dan fazla olmamalıdır. Düşürücü transformatörün merkez sekonderinden yüksek gerilim dağıtım şebekesinin

gerilim düşüşü %7'yi geçmemelidir. Ancak, bir ring şebeke için, bir arıza durumunda ringi tek taraflı beslemenin voltaj düşüşü de hesaplanmalıdır. Bu durumda gerilim düşüşü %10'u geçmemelidir [38].



BÖLÜM 4. ELEKTROMANYETİK ALANLAR

Sabit bir elektrik akımına kararlı elektrik ve manyetik alanlar eşlik eder. Değişken bir elektrik akımları ise değişen bir elektrik alanı ve buna bağlı olarak değişen bir manyetik alan oluşturur. Elektrik ve manyetik etkilerle oluşturulan alanlara elektromanyetik alanlar denir. Elektromanyetik alanda birbirlerine dik elektrik ve manyetik alanların birleşmesi ile oluşan titreşimler elektromanyetik dalga olarak temsil edilir. Günümüzde çeşitli elektromanyetik dalgalar üretilebilmekte ve tespit edilebilmektedir.

4.1. Maxwell Denklemleri

Maxwell denklemleri, elektromanyetik olayların incelenmesinde önemli rol oynar. Tüm elektromanyetik olayların kuramsal temelini oluşturan Maxwell denklemlerinin sonuçları geniş yankı uyandırmış ve fizik tarihi üzerinde çok etkili olmuştur. Maxwell'in teorisi, klasik fizikte elektrik ve manyetik alanlar arasında çok önemli bir ilişki kurmuştur. Bu denklemler, alan ve yük arasındaki ilişkiyi ortaya koyar ve klasik elektromanyetizmayı tam olarak açıklamaktadır.

Elektrik ve manyetik olayların temeli olarak kabul edilen, (4.1) ile verilen ilk Maxwell denklemi ile ifade edilen fiziksel olgu Gauss Yasası olarak bilinmektedir. Bu yasaya göre kapalı bir yüzeyden geçen toplam elektrik akısı, o yüzeydeki net yüke eşittir.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (4.1)$$

Bu denklemde; E, elektrik alanı; ϵ_0 , elektriksel geçirgenliği; ρ , uzaysal yük yoğunluğunu belirtmektedir.

(4.2)'de verilen ikinci Maxwell denklemi Manyetik Gauss Yasası olarak bilinir ve kapalı bir yüzeyden geçen manyetik akının sıfır olduğunu gösterir.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (4.2)$$

Burada B, manyetik alan olarak ifade edilmektedir.

(4.3)'te verilen Maxwell denklemlerinin üçüncüsü Faraday yasası olarak bilinir. Bu yasa, manyetik alanın zamanla değişiminden kaynaklanan elektrik alanını hesaplamayı mümkün kılar.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (4.3)$$

Ampere yasası olarak bilinen dördüncü Maxwell denklemleri (4.4) ile ifade edilir. Bu yasaya göre, akım ve değişken elektrik alanları bir manyetik alan oluşturabilir.

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (4.4)$$

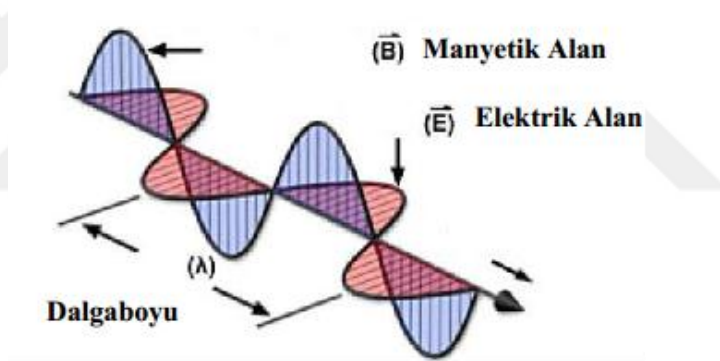
Ampere Yasası'nda J, akım yoğunluğunu; μ_0 , manyetik geçirgenliği; t, zamanı ifade etmektedir.

Yükü ve elektrik akımı olmayan boş bir alan, yani uzaysal yük yoğunluğunun (ρ) ve akım yoğunluğu (J_r) sıfır olduğu durumda Maxwell denklemleri aşağıda belirtilen şekle dönüşür [41].

$$\begin{aligned}
\vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= 0 \\
\vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\
\vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\
\vec{\nabla} \times \vec{B} &= \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}
\end{aligned} \tag{4.5}$$

4.2. Elektromanyetik Dalgalar

Bir noktanın titreşim yönü ile dalga yayılma yönü birbirine dik olduğunda, böyle bir dalgaya kesme dalgası denir. Boş bir uzayda ışık hızında yayılan, elektrik ve manyetik alan bileşenleri birbirine ve yayılma yönüne dik olan enine dalgaya elektromanyetik dalga denir (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Düzlem elektromanyetik dalga

Günümüzde kızılötesi ışınları, görünür dalgaları ve morötesi ışınları, radyo dalgalarından radar dalgalarına ve mikrodalgalardan X ışınlarına ve gama ışınlarına kadar çeşitli elektromanyetik dalgaları üretmek ve tespit etmek mümkündür. Yalnızca frekans ve dalga boyunda farklılık gösterirler.

4.2.1. Radyo dalgalar

Bu dalgaların dalga boyu yaklaşık 30 cm ile kilometreler arasında değişir ve özel elektronik devreler tarafından elde edilir. Önemli bir biyolojik etkileri yoktur. Bu

dalgalar her türlü sinyal iletiminde (radyo, televizyon, telsiz vb.) taşıyıcı dalgalar olarak kullanılırlar.

4.2.2. Mikrodalgalar

50 mm'den 30 cm'ye kadar dalga boylarına sahip bu dalgalar, özel elektronik lambalarla elde edilir ve elektronik yöntemle sayılabilir. Bu dalgalara radar sistemlerinde kullanıldığı için radar dalgaları da denilmektedir.

Mikrodalgaların insan vücudu üzerindeki olumsuz etkileri arasında göz merceğinde saydamlığın bozulması, sinir sistemindeki değişiklikler ve dolayısıyla EEG (Elektroensefalografi) desenlerinde değişimler sayılabilir. Ortamdaki mikrodalga radyasyonu 10 mW/cm^2 'yi geçerse bu radyasyonun canlı organizmalar için uygun olmadığı varsayılır.

Bu olumsuz etkilere ek olarak, 2,45 GHz frekansa sahip mikrodalgalar ısınma amaçlı olarak fizyoterapide kullanılmaktadır.

4.2.3. Kızıl ötesi ışınlar

0,8 m ila 125 m dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgalara kızılötesi ışınlar veya ısı ışınları denir. Güneş spektrumunda bulunurlar ve sıcak nesnelerin yüzeyinden yayılırlar.

4.2.4. Görünür ışık

Bu ışınların dalga boyları 360 nm ile 800 nm arasında değişir ve güneş spektrumunda olduğu gibi ısının etkisi altında atomların uyarılmasıyla yayılır. Görünür ışık görülebilir ve fotoelektrik efekt gibi efektlere dayalı olarak geliştirilmiş özel elektronik bileşenler yardımıyla fotoğraf kağıdı üzerindeki efektleri tanıyabilir. Atomun elektron enerji seviyesindeki değişiklikler tarafından yayılır veya emilirler. Güneş ışığından gelen görünür ışık, fotosentez yoluyla Dünya'daki yaşamın ana

enerji kaynağıdır. Görünür ışık salma ve soğurma spektrumlarının spektrofotometrik incelemesi, madde analizinin en önemli yöntemlerinden biridir.

4.2.5. Morötesi ışınlar

Dalga boyları 60 nm – 380 nm arasında olan bu ışınlar güneş spektrumunda yer alır. Orta hızda elektronlarla bir metale çarpması ve gaz deşarj tüpü ile elde edilirler. Morötesi ışınları, atomlardaki elektron enerji seviyeleri arasındaki geçişlerle ilgilidir ve fotoğraf filmleri ve elektronik devre bileşenleri üzerindeki etkileri ile tespit edilebilir.

Bazı insanlar güneş ışığındaki morötesi ışınlarının ozon olmadan atmosferden geçerek yeryüzüne ulaştığına inanırlar ki bu da yeryüzündeki ilk organik moleküllerin sentezinin nedenidir. Hepimizin bildiği gibi sonradan oluşan ozon tabakası yeryüzündeki yaşamı koruyan bir kılıftır ve güneşten gelen morötesi ışınlarını büyük oranda emer. Ancak son yıllarda çevre kirliliği nedeniyle ozon tabakasının her yerde incilmesi ve dünya üzerindeki yaşamın morötesi ışınları tarafından tehdit edildiği artık bir gerçek haline gelmiştir.

Uzmanlara göre bir miktar morötesi ışınlarının vücut tarafından alınması, D vitamini üretimi ve kemik gelişimi için gerekli görüldüğü söylenmektedir. Ancak fazla morötesi ışını alınması zararlı olacaktır. Vücuttaki proteinler ve nükleik asitler, morötesi ışınlarını karakteristik bir şekilde soğurduklarından, şiddetli morötesi ışınlarına maruz kalmanın deri üstünde kanserlere neden olabileceğini bildirmiştir. Cıva, ark lambasından elde edilen morötesi ışın kliniklerde ve gıda endüstrisinde virüsleri ve bakterileri öldürmek için kullanılmaktadır.

4.2.6. X Işınları

Yüksek enerjili elektronlar metal bir yüzeye çarptığında, dalga boylan $10^{-13} - 10^{-8}$ m arasındaki x ışınları elde edilir. Hızlı elektronların çekirdeğe yakın girmesi ve frenleme ivmesine maruz kalması, sürekli x-ışını radyasyonu ile sonuçlanır.

X-ışınları biyomoleküllere nüfuz ettiğinde, biyomolekül içinde hücre yıkımına veya ölümüne yol açabilecek iyonizasyon ve uyarma meydana gelir. Ayrıca hücreler x-ışınlarından direkt olarak etkilenmezler, ancak hücrelerin etrafındaki radyasyonun neden olduğu kimyasal değişiklikler nedeniyle bozulabilir veya ölebilirler.

4.2.7. Gama ışınları

Gama ışınlarının özellikleri ve etkileri x-ışınları ile hemen hemen aynıdır [2,3].

Radyoaktif izotopların çekirdek dönüşümü sırasında yayılan ışınların dalga boyu 10^{-14} - 10^{-10} m arasındadır. Bu ışınların girginliği çok fazladır. İyonizasyon odaları ve fotoğraf kağıdı üzerindeki etkileri ile kanıtlanabilirler. Gama ışınları x ışınları ile özellik ve etki bakımından hemen hemen aynıdır [23,42].

4.3. Dalga Denklemi

Maxwell denklemlerinden olan Faraday ve Ampere Yasaları'nın denklemlerinin rotasyoneli alındığında,

$$\begin{aligned}\nabla^2 \vec{E} &= \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \nabla^2 \vec{B} &= \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}\end{aligned}\tag{4.6}$$

bağıntılarında verildiği gibi elektrik ve manyetik alanlar için ayrı denklemler elde edilir.

Aşağıdaki denklem incelendiğinde bu denklemin elektrik ve manyetik alan için doğruluğu sağlanmıştır.

$$\nabla^2 f = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}\tag{4.7}$$

Bu denklem Klasik Dalga Denklemidir ve c hızıyla ilerleyen bir dalganın hareketini belirtir. Dalganın hızı,

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (4.8)$$

ışık hızıdır [41].

4.4. Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri

Bir elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alan vektörleri birbirine dik olduğu gibi dalga yayılma yönüne de diktir. Enerji ve momentum taşıdıkları yüzeye bir baskı yani basınç uygularlar. Elektromanyetik dalgalar yansıma, kırılma, girişim ve kırınım özelliklerine sahiptir. Bu özelliklere ek olarak, elektromanyetik dalgalarındaki nitelikler aşağıda belirtilmiştir:

Frekans (ν): Elektromanyetik dalganın bir saniyedeki salınım sayısına yani kendini tekrarlama sıklığına frekans denir. Frekans birimi Hertz (Hz)'dir.

Dalga boyu (λ): Bir boşlukta ışık hızında yayılan bir dalganın değişen yapısı, hareket yönünde düzenli aralıklarla tekrar eder. Bu tekrar eden mesafeye elektromanyetik dalganın dalga boyu denir.

Şiddet (I): Bir elektromanyetik dalga tarafından kendisine dik birim yüzeyden geçirdiği ortalama güç değerine şiddet denir.

$$I = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 = \frac{c B_0^2}{2 \mu_0} \quad (4.9)$$

4.5. Elektromanyetik Düzlem Dalga

Zamanla değişen elektrik alan ve manyetik alan vektörleri uzayda herhangi bir noktada ilerleme yönüne dik hareket ettiğinde, buna elektromanyetik düzlem dalgalar denir. Düzlem dalganın elektrik ve manyetik alan bileşenleri (4.10)'da gösterildiği gibidir.

$$\begin{aligned}\vec{E}(x,t) &= E_0 e^{i(kx - \omega t)} \hat{j} \\ \vec{B}(x,t) &= B_0 e^{i(kx - \omega t)} \hat{k}\end{aligned}\tag{4.10}$$

Burada;

E_0 =Elektrik Alan Genliği

B_0 =Manyetik Alan Genliği

k =Dalga sayısı

x =Uzaklık

ω =Frekans

t =Zaman

4.6. Elektromanyetik Dalganın Taşıdığı Enerji ve Momentum

Elektromanyetik dalgalar, hareketli elektrik ve manyetik alanlardan oluşur. Bu alanlar enerji içerdiğinden elektromanyetik dalgalar uzayda enerji taşıyabilir ve uzayda yayılırken bu enerjiyi karşılaştıkları cisimlere aktarabilirler. Bir elektromanyetik dalga tarafından birim alana birim zaman içinde aktardığı enerji Poynting vektörü ile belirlenir.

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B}) \text{ W/m}^2\tag{4.11}$$

Herhangi bir noktadaki Poynting vektörünün yönü, o noktadaki enerji akışının yönünü gösterir.

Elektromanyetik dalganın enerjisi,

$$U = \frac{1}{2}(\epsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{\mu_0}) \quad (4.12)$$

denklemleri ile bulunur.

Manyetik alan ve elektrik alan arasında

$$B^2 = \frac{E^2}{c^2} = E^2 \epsilon_0 \mu_0 \quad (4.13)$$

bağıntısı olduğu için enerji denklemi

$$U = \frac{1}{2}(\epsilon_0 E^2 + \frac{E^2 \epsilon_0 \mu_0}{\mu_0}) = \epsilon_0 E^2 \quad (4.14)$$

şeklinde düzenlenir. Elde edilen bu denkleme göre, bir elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alanları aynı miktarda enerji taşır.

Elektromanyetik dalganın momentumu ise,

$$P = \epsilon_0 \mu_0 \vec{S} = \frac{1}{c^2} \vec{S} \quad (4.15)$$

denklemleri ile verilir.

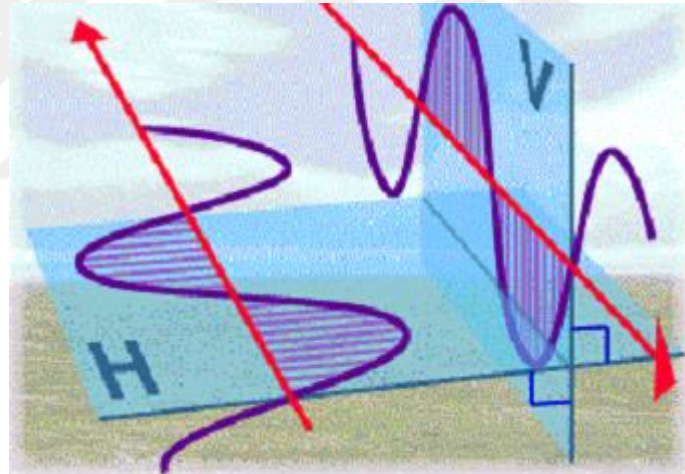
Elektromanyetik dalgaların hareket yönüne dik olan, birim alandaki güç miktarı güç akı yoğunluğunu temsil eder. Basitçe söylemek gerekirse elektrik ve manyetik alan şiddetine

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{E^2}{377} \text{ W/m}^2 \quad (4.16)$$

şeklinde bağlıdır. Denklemdaki 377 Ω skaler değeri, boşluğun direnci olarak ifade edilir. Yani bir dalganın boşlukta yayılmasına gösterilen direnç değeridir.

4.7. Elektromanyetik Dalga Polarizasyonu

Elektromanyetik dalga ne kadar karmaşık olursa olsun, elektromanyetik dalga kaynaktan uzaklaştığında, faz düzlemi sınırlı bir alanda küresel bir dalga veya bir düzlem dalga gibi davranır. Çevrede yayılan bir elektromanyetik dalganın elektrik alanının yer düzlemine göre yönü, dalganın polarizasyonu olarak tanımlanır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Dalganın polarizasyonu

- Lineer Polarizasyon: Bir dalganın elektrik alanı yönü, tek bir doğrultudayken, zamanla değişmediğinde oluşan polarizasyona lineer polarizasyon denilmektedir. Elektrik alan bileşeni yer düzlemine paralelse yatay polarizasyonlu olarak adlandırılır. Elektrik alan bileşeni yer düzlemine dik konumdaysa bu durumda düşey polarizasyonlu olarak ifade edilir.
- Eliptik Polarizasyon: Elektrik alan bileşeni zamanla eliptik hareket ediyorsa zamanla polarizasyon değişir ve eliptik polarizasyon meydana gelir. Aynı

şekilde elektrik alanın yönü dairesel hareket ediyorsa polarizasyon da zamanla dairesel olarak değişir ve dairesel polarizasyon olarak adlandırılır.

4.8. Elektromanyetik Dalga Yayılımı

Elektromanyetik dalgalar, ortamdaki nesnelerle çeşitli mekanizmalar yoluyla etkileşir. Dalga boyları için geniş düz yüzeylere ulaştıklarında, bu yüzeyler tarafından yansıtılır ve kırılırlar. Bu enerjilerin bazıları yansıtılır ve diğerleri bu düzlemsel bölgeye nüfuz eder. Köşeler ve kenarlar gibi yerlere ulaştıklarında dağılırlar ve noktasal veya yönlü kaynak davranışı sergilerler.

- Yansıma: Işığın ayna yüzeyinde yansıması gibi elektromanyetik dalgalar da çeşitli maddeler tarafından yansıtılır. Tam yansımada, elektrik alan şiddeti değeri alıcı noktasında zayıflamaya veya daha güçlü yayına neden olur.
- Kırınım: Elektromanyetik dalgalar, ilerleme sırasında herhangi bir engel ile karşılaştıklarında kırınıma uğrarlar. Elektromanyetik dalga, dalga çeperi önündeki engelden belli oranda güç kaybederek ilerler.
- Kırılma: Elektromanyetik dalgalar, havanın yoğunluğuna bağlı olarak ilerleme yönünde yüzeye paralel olarak akma eğilimindedir. Çok yoğun bir ortamdan düşük yoğunluklu bir ortama giren dalgalar normalden uzaklaşır. Eğilme yüzeye tam olarak paralel ise dalga yatay olarak polarize olacaktır. Bu eğilme düşük frekanslarda daha azdır, dolayısıyla elektromanyetik dalgalar daha uzun yol alabilir.
- Saçılma: Kaynaktan bir noktaya doğrudan ulaşan bileşenlerin yanı sıra yansımalar ve kırılmalarla oluşan bileşenler de vardır. Saçılma ise belirli bir kaynaktan gelen dalgaların, farklı nesnelerden ve yüzeylerden rasgele yönlerde saçılması anlamına gelir. Ortam içinde rasgele yerlerde ve çok sayıda kaynaklardan yayılan dalgalar, iletildikleri ortamda karmaşık yapılar oluştururlar.

BÖLÜM 5. MANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİ

5.1. Giriş

Bu bölümde, genel halk ve çalışanların maruz kaldıkları farklı frekans bantlarındaki elektromanyetik alanlardan biri olan çok düşük frekanslı elektromanyetik alanlara maruziyetin değerlendirilmesi amacıyla örnek olarak seçilen 31.5 kV yer altı enerji nakil hattı için farklı noktalarda yapılan manyetik akı yoğunluğu ölçümlerinin sonuçları sunulmaktadır. Ulusal ve uluslararası limitler incelenmekte ve elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak ulusal ve uluslararası limitlere göre maruziyet değerlendirmesi yapılmaktadır. Ölçüm verilerine dayalı olarak maruziyet oranları hesaplanmaktadır.

5.2. Limit Değerler ve Yasal Düzenlemeler

5.2.1. Uluslararası düzenlemeler

Elektromanyetik radyasyon konusunda her ülke kendi standartlarına göre limit değerler belirlemektedir. Avrupa Birliği'ne üye ülkeler ve diğer birçok ülkede ortak olarak kabul gören ve uygulanan limit değerler bulunmaktadır. Bu limit değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından da tanınan uluslararası bir komisyon olan İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu (ICNIRP) tarafından belirlenmiştir. ICNIRP Uluslararası Kanseri Araştırmaları Ajansı (IARC) ile de ortak çalışmaktadır. ICNIRP standardı bilimsel temeller üzerine kurulmuştur ve dünyanın her yerinde yapılan bilimsel çalışmalar komisyon tarafından kapsamlı olarak devamlı takip edilmekte ortaya çıkan yeni teknolojiler izlenmektedir. Bilimsel çalışmaların özellikle kanser gelişimi ile ilgili olanları IARC tarafından değerlendirmektedir. Son olarak, ICNIRP ve IARC'ın çalışmaları dikkate alınarak WHO tarafından

elektromanyetik alan maruziyetinin tüm olası sağlık etkileri üzerine evrensel bir değerlendirme yapılmaktadır.

ICNIRP limit değerleri iki kademeli olarak ortaya koymuştur. İlk kademeyi oluşturan düşük limitler genel halk için tespit edilmiştir. Genel halk söz konusu olduğunda; muhtemel bütün faaliyetler, bütün yaş grupları ve her türlü sağlık şartları dikkate alınmaktadır. Umumi yerlerde insanlar elektromanyetik alanlara maruz kalmanın ve bazı etkilerinin bilincinde olmamalarına karşın iş yerlerinde çalışan işçilerin yeterli bilgi ve eğitimi aldıkları bir mesai süresi kadar bu ortamda bulundukları dikkate alınarak mesleki limit değerler olan ikinci kademe limit değerler belirlenmiştir. Limit değerler yayılan elektromanyetik radyasyonun frekansına bağlı olarak değişmektedir. ICNIRP tarafından belirlenen limit değerler genel halk ve mesleki maruziyet için sırasıyla Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de verilmektedir [43].

Tablo 5.1. Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara genel halk maruziyeti için limit değerler

Frekans Aralığı	Elektrik Alan Şiddeti E (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu B (μT)	Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu Seq (W/m ²)
1 Hz'e kadar	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1-8 Hz	5×10^3	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	5×10^3	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^3 / f$	-
25-50 Hz	5×10^3	1.6×10^2	2×10^2	-
50-400 Hz	$2.5 \times 10^5 / f$	1.6×10^2	2×10^2	-
400-3000 Hz	$2.5 \times 10^5 / f$	$6.4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^4 / f$	-
3 kHz-10 MHz	83	21	27	-
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

Frekans (f); frekans aralığı sütununda belirtildiği gibidir. (Formülde frekans değeri yazılırken, frekans aralığı sütununda belirtilen frekans birimi dikkate alınacaktır.)

Tablo 5.2. Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara mesleki maruziyet için limit değerler

Frekans Aralığı	Elektrik Alan Şiddeti E (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu B (μT)	Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu Seq (W/m ²)
1 Hz'e kadar	-	1.63×10^5	2×10^5	-
1-8 Hz	20×10^3	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8-25 Hz	20×10^3	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	-
25-300 Hz	$5 \times 10^5 / f$	8×10^2	1×10^3	-
300-3000 Hz	$5 \times 10^5 / f$	$2.4 \times 10^5 / f$	$3 \times 10^5 / f$	-
3 kHz-10 MHz	1.7×10^2	80	1×10^2	-
10-400 MHz	61	0.16	0.2	10
400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2-300 GHz	137	0.36	0.45	50

Frekans (f); frekans aralığı sütununda belirtildiği gibidir. (Formülde frekans değeri yazılırken, frekans aralığı sütununda belirtilen frekans birimi dikkate alınacaktır.)

Çalışanları 0 Hz-300 GHz frekans bandındaki elektromanyetik alanlardan korumak için Avrupa Birliği (AB) tarafından hazırlanan bir yönetmelik bulunmaktadır. 2013/35/EU sayılı Çalışanların Sağlık ve Güvenliklerinin Elektromanyetik Alan Maruziyetinden Kaynaklanan Risklere Karşı Korunması Hakkındaki bu yönetmelikte tanımlanan farklı limitlerden en düşüğü olan Low ALs (Low Action Levels) için Tablo 5.2.'de verilen ICNIRP'nin mesleki limit değerleri referans alınmaktadır.

5.2.2. Ulusal düzenlemeler

Türkiye'de uygulanacak elektromanyetik radyasyon limit değerlerini belirleyen, "İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik" 24.07.2010 tarih ve 27651 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin 2. maddesinin 2. fıkrasında "işyerlerinde çalışanların iş ortamında, tıbbi bakım görmekte olan hastaların hastane ortamında ve askerî faaliyetlere bağlı olarak askerî alanlardaki askerlerin maruz kaldıkları elektromanyetik alanların bu yönetmeliğin kapsamı dışında olduğu" ifade edilmekte ve yönetmelikte elektromanyetik radyasyonla ilgili mesleki limit değerlere yer verilmemektedir. Yönetmelikte genel halk için belirlenen limit değerler ise Tablo 5.3.'deki gibidir.

Tablo 5.3. 0 Hz - 300 GHz frekans bantlarındaki elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için Türkiye’de geçerli limit değerler (Genel Halk)

Frekans Aralığı	Elektrik Alan Şiddeti E (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu B (μT)	Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu Seq (W/m ²)
1 Hz’ e kadar	-	32 000	40 000	-
1-8 Hz	10 000	$32\,000/f^2$	$40\,000/f^2$	-
8-25 Hz	10 000	$4000/f$	$5000/f$	-
0.025-0.8 kHz	$750/f$	$8/f$	$10/f$	-
0.8-3 kHz	$250/f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
0.15-1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	-
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	-
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

Frekans (f); frekans aralığı sütununda belirtildiği gibidir. (Formülde frekans değeri yazılırken, frekans aralığı sütununda belirtilen frekans birimi dikkate alınacaktır.)

Yönetmeliğin 11. Maddesine göre 0 Hz - 300 GHz frekans bantlarındaki; elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti, manyetik akı yoğunluğu ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri meskûn mahalde Tablo 5.3.’de verilen limit değerleri aşamaz.

Yönetmelik, 50 Hz frekansındaki elektrik üretim santralleri, enerji iletim/dağıtım hatları ve trafo/şalt/dağıtım merkezlerinden kaynaklanan elektromanyetik alanlar için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nı; elektronik haberleşme cihazlarından kaynaklanan, 10 kHz - 300 GHz frekans bandında oluşan, elektromanyetik alanlar için Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu’nu (BTK) ve cihaz-cihaz etkileşmelerini konu alan Elektrikli Teçhizat ile İlgili Yönetmelik (2006/95/AT) ile 24/10/2007 tarihli ve 26680 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Elektromanyetik Uyumluluk Yönetmeliği (2004/108/AT) konusunda da Sanayi ve Ticaret Bakanlığı’nı ilgili hususlarda gerekli tedbirleri almak üzere görevlendirmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile ilgili olan 50 Hz frekanslı elektromanyetik radyasyona genel halkın maruziyeti için koyulan limit değerler uluslar arası standartlarla (ICNIRP) karşılaştırmalı olarak Tablo 5.4.’de verilmektedir. Türkiye’de elektromanyetik alanlara mesleki maruziyetle ilgili limit değerleri ortaya koyan bir

düzenleme olmadığı için çalışanların mesleki maruziyetinin değerlendirilmesinde ICNIRP tarafından belirlenen limit değerler referans alınmaktadır.

Tablo 5.4. Limit değerler ($f=50\text{Hz}$ için)

Standart		Elektrik Alan Şiddeti E (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu B (μT)
TÜRKİYE (2010)	Genel Halk	15000	160	200
	Mesleki	-	-	-
ICNIRP (2010)	Genel Halk	5000	160	200
	Mesleki	10000	800	1000
2013/35/EU (2013)	Mesleki	10000 (Low ALs)	-	1000 (Low ALs)
		20000 (High ALs)		6000 (High ALs)
				18000 (ALs*)

* Sadece kol ve bacakların bölgesel olarak manyetik akı yoğunluğuna maruziyeti durumunda

5.2.3. Farklı frekanslı alanlara eşzamanlı maruziyet

Farklı frekanslardaki alanlara eşzamanlı olarak maruz kalındığında temel kısıtlamaların pratik bir uygulaması olarak alan limit değerleri ile ilgili olan (Denklem 5.1)'deki kriter uygulanabilir.

$$\sum_{j=1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{H_{R,j}} \leq 1 \quad (5.1)$$

Burada $H_j = j$ frekansındaki manyetik alan şiddeti ve $H_{R,j} = j$ frekansındaki manyetik alan şiddeti limit değeridir.

5.3. Manyetik Alan Ölçümleri

5.3.1. Ölçüm yöntemi

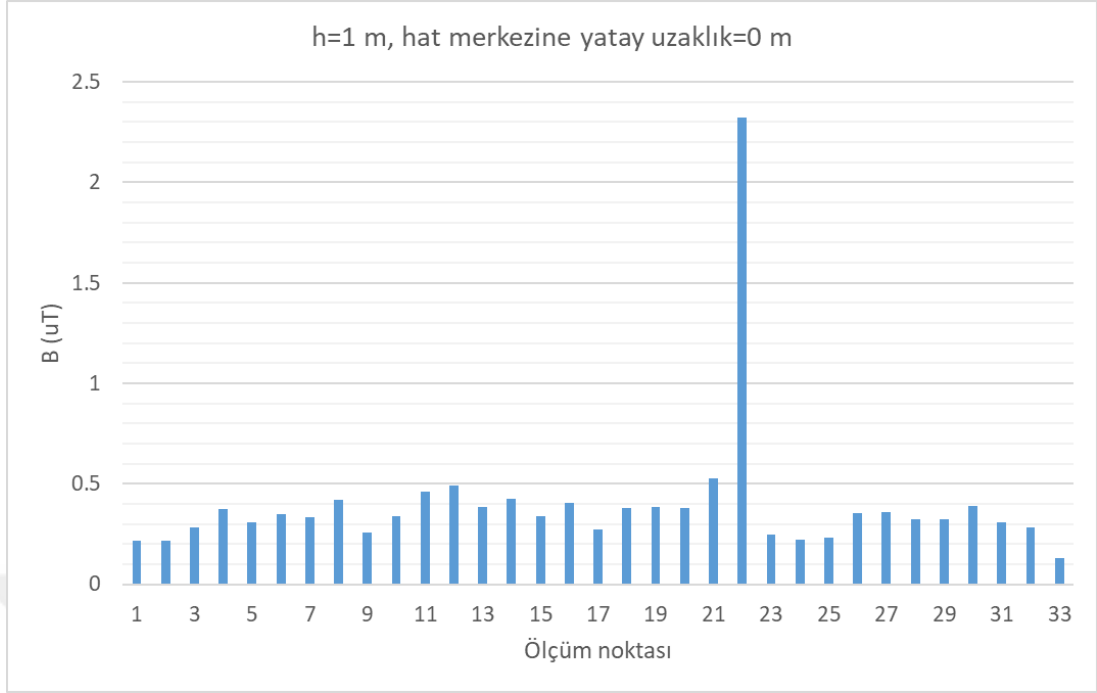
Elektromanyetik alan ölçümleri için seçilen 31.5 kV yer altı enerji nakil hattı (154/31.5 kV 4.744 km 3*(1*240/25 mm²) XLPE yer altı kablolu) üzerinde ve yakın çevresinde çok düşük frekans bandında manyetik akı yoğunlukları ölçülmüştür. Ölçümler için hattın enerji sağladığı endüstriyel kuruluşların tam kapasite çalıştıkları saatler seçilmiştir.

İki farklı ölçüm yapılmıştır; bunlardan birisi 45-2000 Hz frekans aralığını içeren, hattın merkezinde yerden 1 m yüksekte tüm hat boyunca 33 farklı noktada yapılan geniş bant ölçümleri, diğeri ise seçilen iki noktada aynı frekans bandı için yapılan frekans seçmeli ölçümleridir. Geniş bant ölçümlerinin sonuçları ortamda bulunan toplam manyetik akı yoğunluğunu gösterirken frekans seçmeli ölçümler ortamdaki manyetik akı yoğunluğunu frekansları ile birlikte ayrıntılı olarak vermektedir. Frekans seçmeli ölçümlerin yapıldığı iki nokta A ve B olarak isimlendirilmiştir. A noktasında zemin kilitli kaldırım taşı kaplıdır, B noktasında ise zemin topraktır. Ölçümlerde 3 boyutlu sensöre sahip olan cihaz kullanılmış böylece farklı polarizasyon ve yönlerdeki alan bileşenlerinin hepsi ölçülmüştür.

5.3.2. Geniş bant ölçüm sonuçları

Yer altı enerji nakil hattı boyunca ölçülen manyetik akı yoğunlukları Şekil 5.1.'de sunulmaktadır. 3 iletkeni bulunan hattın orta iletkeni üzerinde zeminden 1 m yükseklikte yapılan ölçümlerin sonuçları manyetik akı yoğunluğunun 0.13-2.32 μT arasında değiştiğini göstermektedir. Özel bir durumu olan 22 nolu ölçüm noktası hariç tutulduğunda ise elde edilen en yüksek ölçüm sonucu 0.53 μT olmaktadır. 22 nolu ölçüm noktasında enerji nakil hattı kabloları rulo şeklinde sarılarak yedeklenmiştir.

Geniş bant ölçüm sonuçları limit değerlerle karşılaştırılırken, ölçümlerin yapıldığı 45-2000 Hz frekans bandında ICNIRP tarafından belirlenen en düşük limit değer olan 200 μT (genel halk için) ve 1000 μT (mesleki) referans alınabilir. Ölçüm sonuçları ICNIRP limit değerlerinin oldukça altındadır.

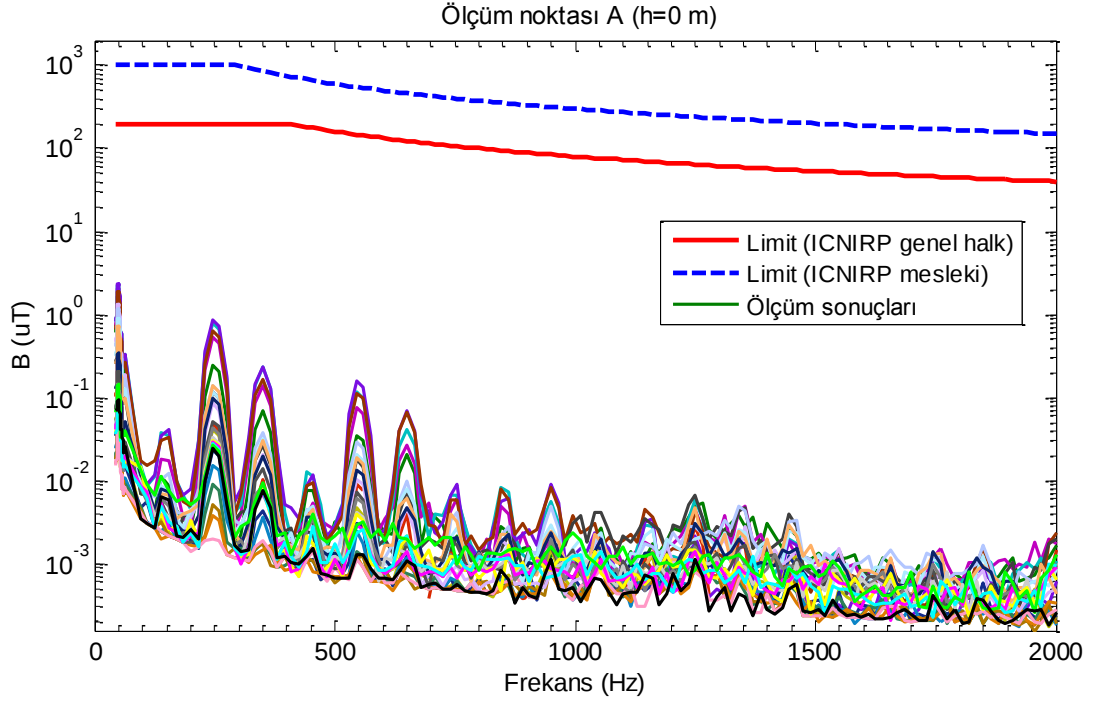


Şekil 5.1. Geniş bant manyetik akı yoğunluğu ölçüm sonuçları

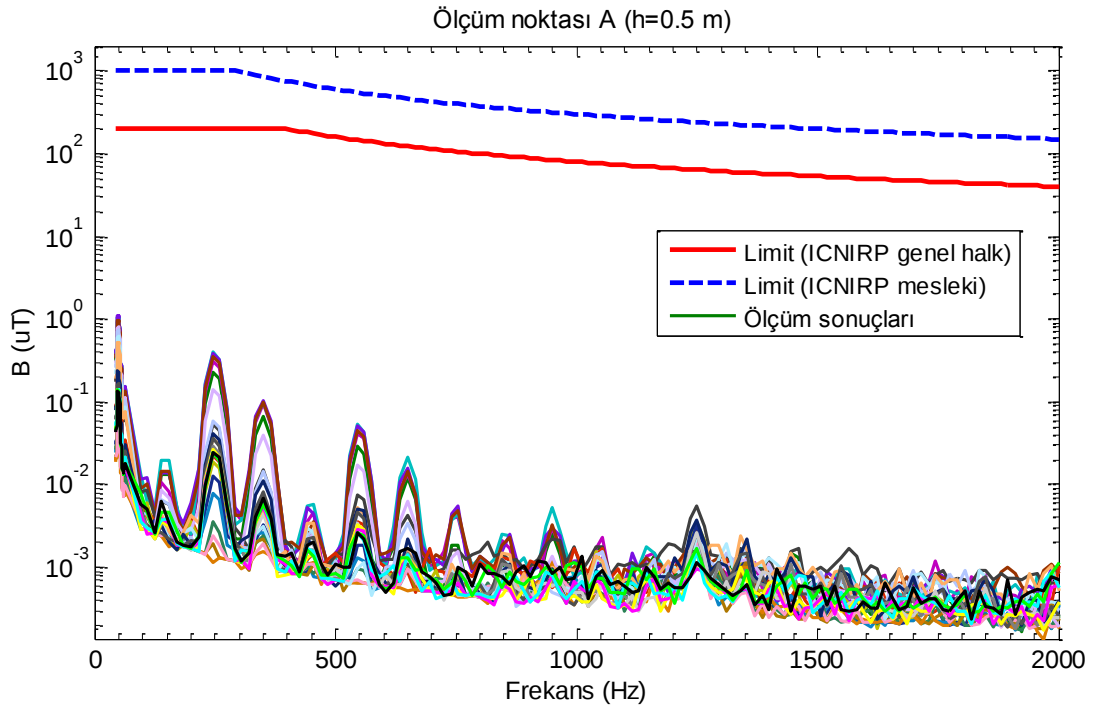
5.3.3. A noktası frekans seçmeli ölçüm sonuçları

Zeminin kilitli parke taşı ile kaplı olduğu A noktasında yerden dört farklı yükseklikte (h) frekans seçmeli ölçümler yapılmıştır. Yerden yükseklikler 0, 0.5, 1 ve 1.5 m olarak seçilmiştir. Her yükseklik için, zemine paralel hatta dik doğrultuda hattın orta iletkeni ekseninden her iki tarafa 10 m uzanan çizgi üzerindeki 27 noktada manyetik akı yoğunluğu ölçülmüştür. Dört farklı yüksekliğin her biri için ayrı ayrı elde edilen 27 adet frekans seçmeli ölçüm sonucu 0, 0.5, 1 ve 1.5 m yükseklik değerleri için sırasıyla Şekil 5.2., Şekil 5.3., Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.'de verilmektedir. Spektrumlar incelendiğinde en yüksek alan şiddetinin 50 Hz frekansında ölçüldüğü, harmoniklerin frekanslarında alan şiddetinin artan frekansla azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan yüksekliğin artmasıyla tüm frekanslardaki manyetik akı yoğunluğu değerleri azalmaktadır. Dört yükseklik için elde edilen tüm ölçüm sonuçları dikkate alındığında en yüksek ölçüm değerinin 50 Hz frekansında, 0 m yükseklikte ve hat merkezinde 2.31 μ T olarak kaydedildiği görülmektedir. Bu değer 0.5, 1 ve 1.5 m yüksekliklerinde sırasıyla 1.08, 0.53 ve 0.35 μ T şeklinde azalmaktadır.

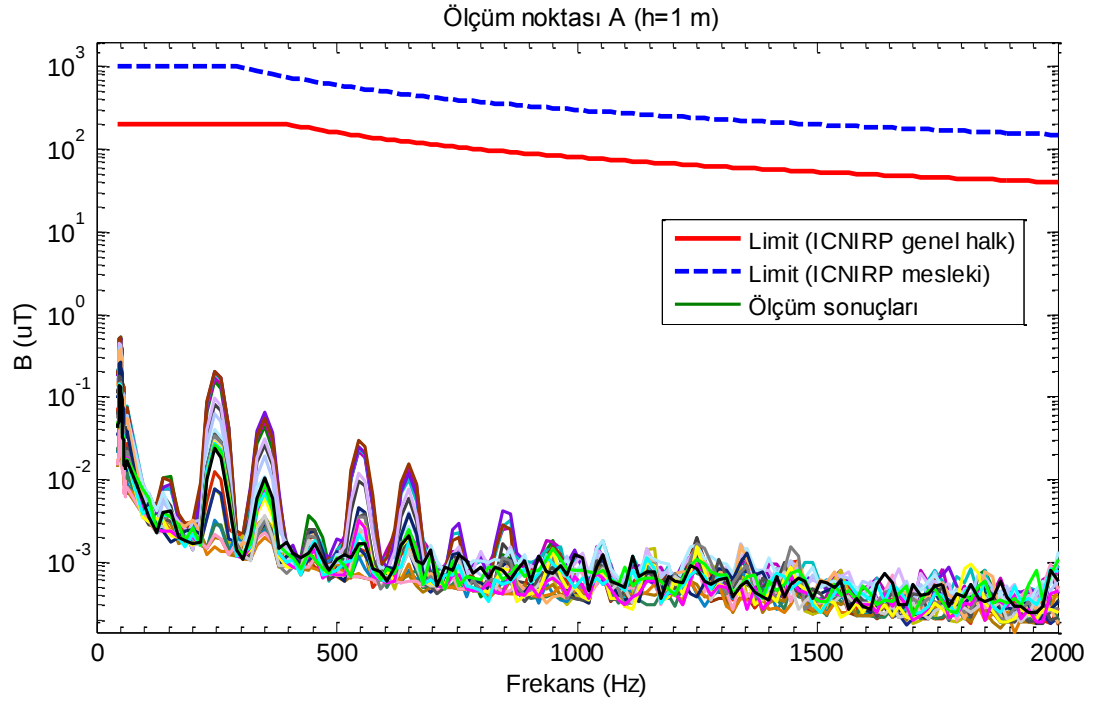
ICNIRP'nin frekansa bağılı olarak değişen limit değerleri ölçüm sonuçları ile birlikte grafiklerde çizilmiştir ve ICNIRP limitlerinin aşılmadığı görülmüştür.



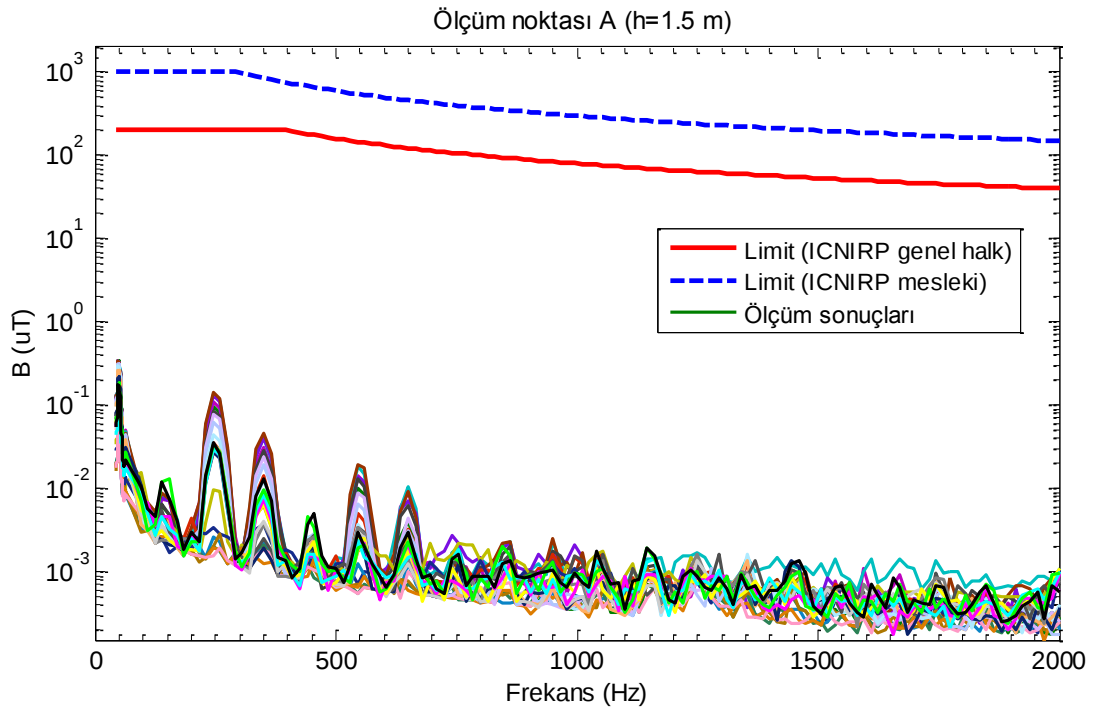
Şekil 5.2. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (A noktası, yerden yükseklik 0 m)



Şekil 5.3. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (A noktası, yerden yükseklik 0.5 m)



Şekil 5.4. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (A noktası, yerden yükseklik 1 m)

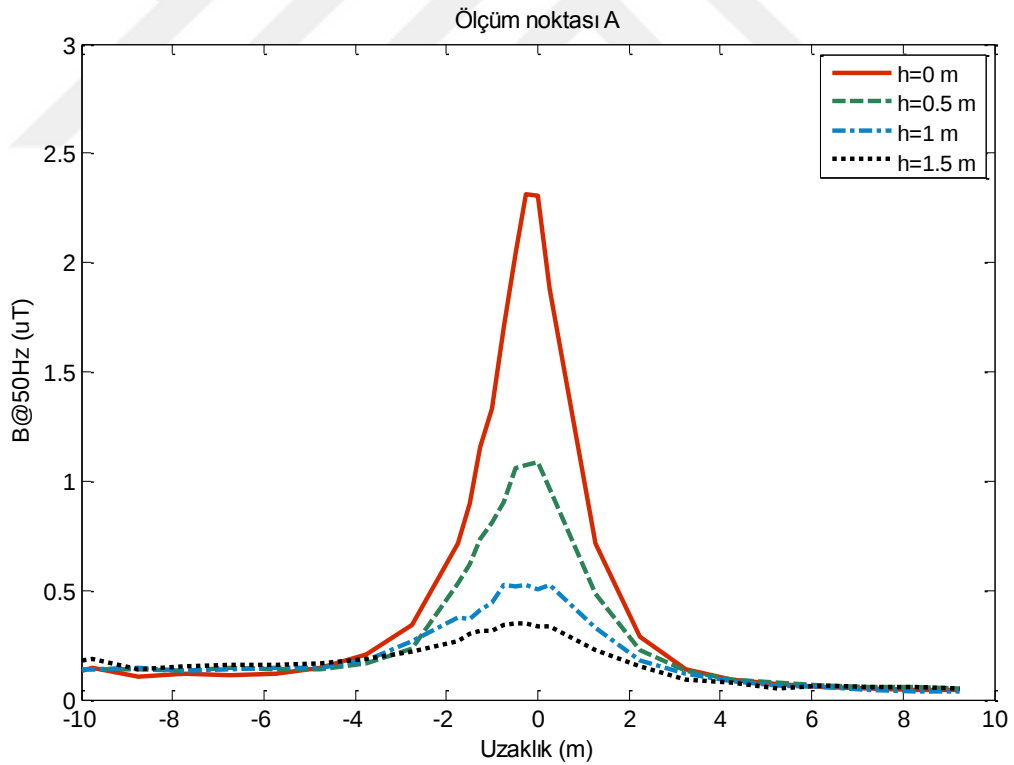


Şekil 5.5. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (A noktası, yerden yükseklik 1.5 m)

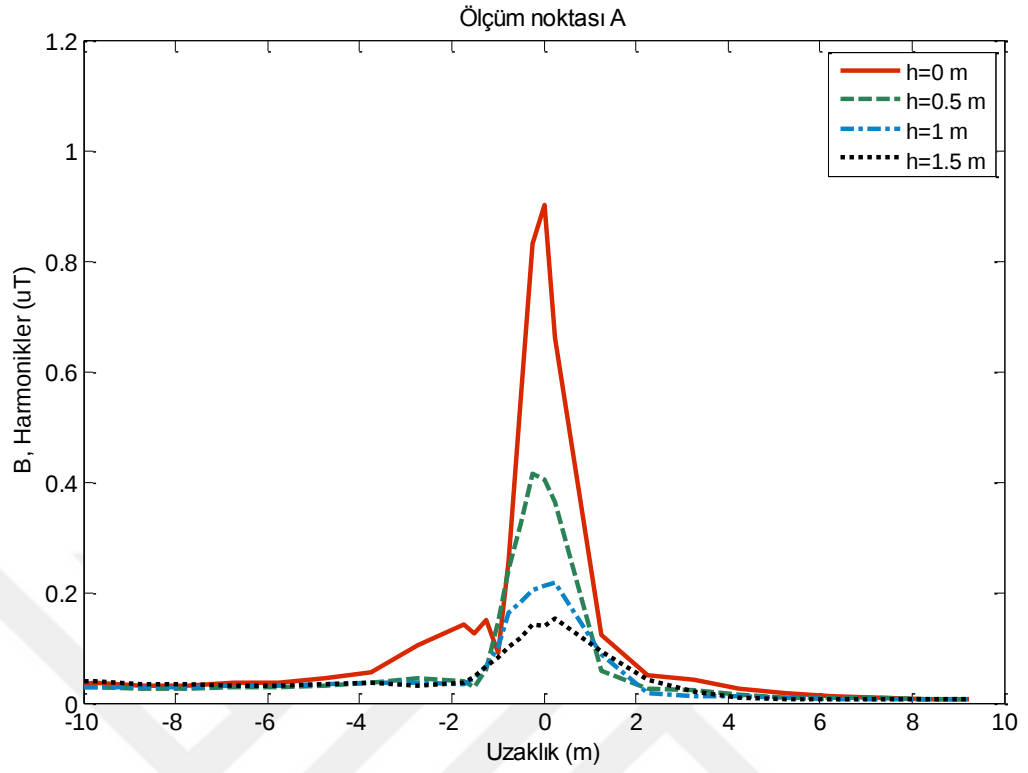
Ölçülen frekansa bağlı manyetik akı yoğunluğu değerleri kullanılarak ölçüm noktaları için toplam manyetik akı yoğunlukları hesaplanmıştır. Toplam manyetik

akı yoğunluğunu oluşturan 50 Hz frekansındaki ve harmonik frekanslarındaki toplam alan değerleri de ayrıca hesaplanarak toplam alan değerine katkıları gösterilmiştir. Elde edilen alan değerleri hat merkezine olan yatay uzaklığa karşı çizilmiştir ve 50 Hz, harmonik frekansları, toplam alan için sırasıyla Şekil 5.6., Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'de sunulmaktadır. Tüm alan değerleri yükseklik ve hat merkezine uzaklık arttıkça azalmaktadır. Elde edilen tüm sonuçlar içinde en yüksek alan değerleri 50 Hz, harmonik frekansları ve toplam alan için sırasıyla 2.31, 0.90 ve 2.48 μT olmuştur.

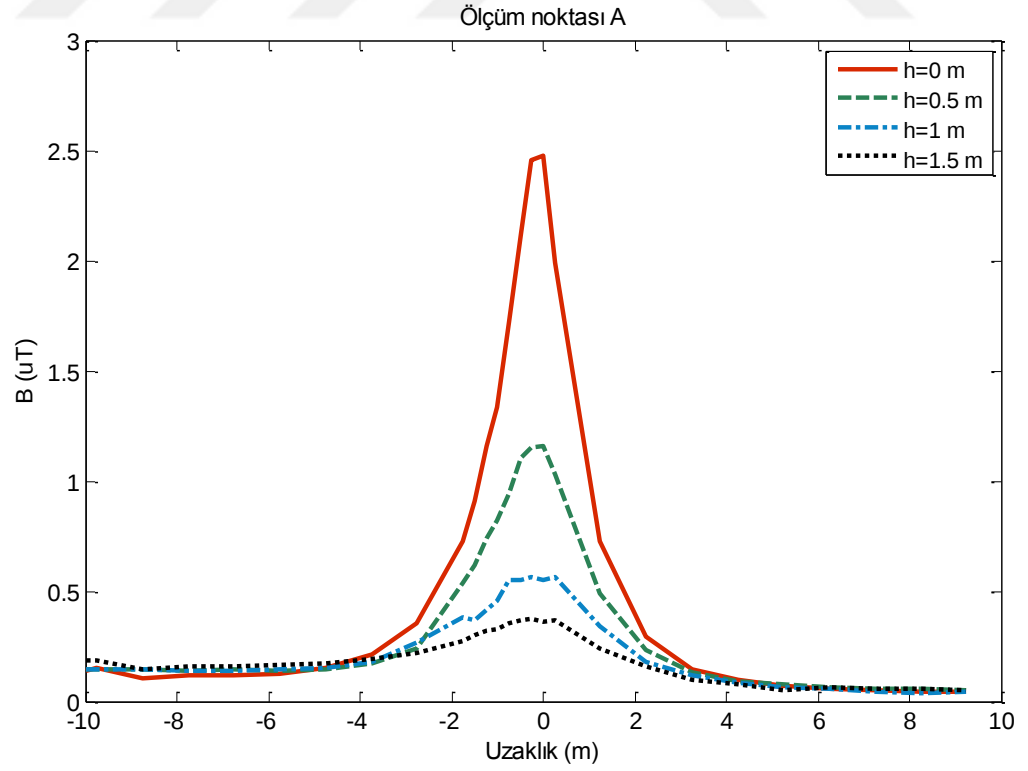
Hesaplanan toplam manyetik akı yoğunluğu değerleri ICNIRP tarafından belirlenen en düşük limit değer olan 200 μT (genel halk için) ve 1000 μT (mesleki) ile karşılaştırıldığında sonuçların ICNIRP limit değerinin oldukça altında olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.6. 50 Hz frekansındaki manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi

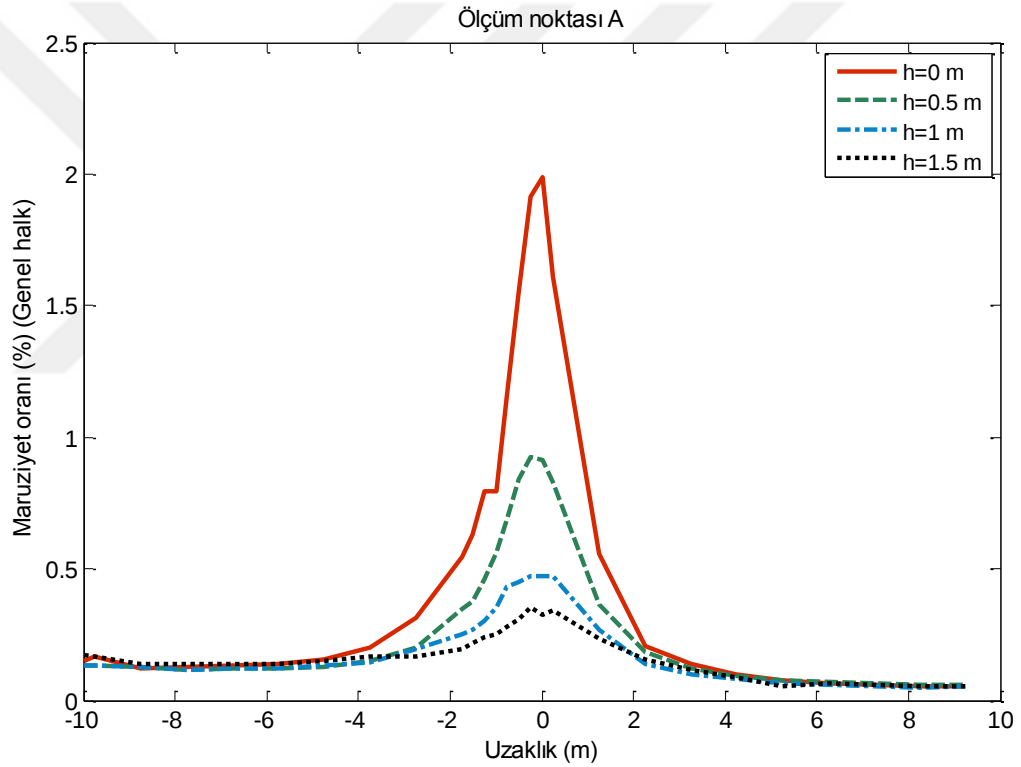


Şekil 5.7. Harmonik frekanslarındaki manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi

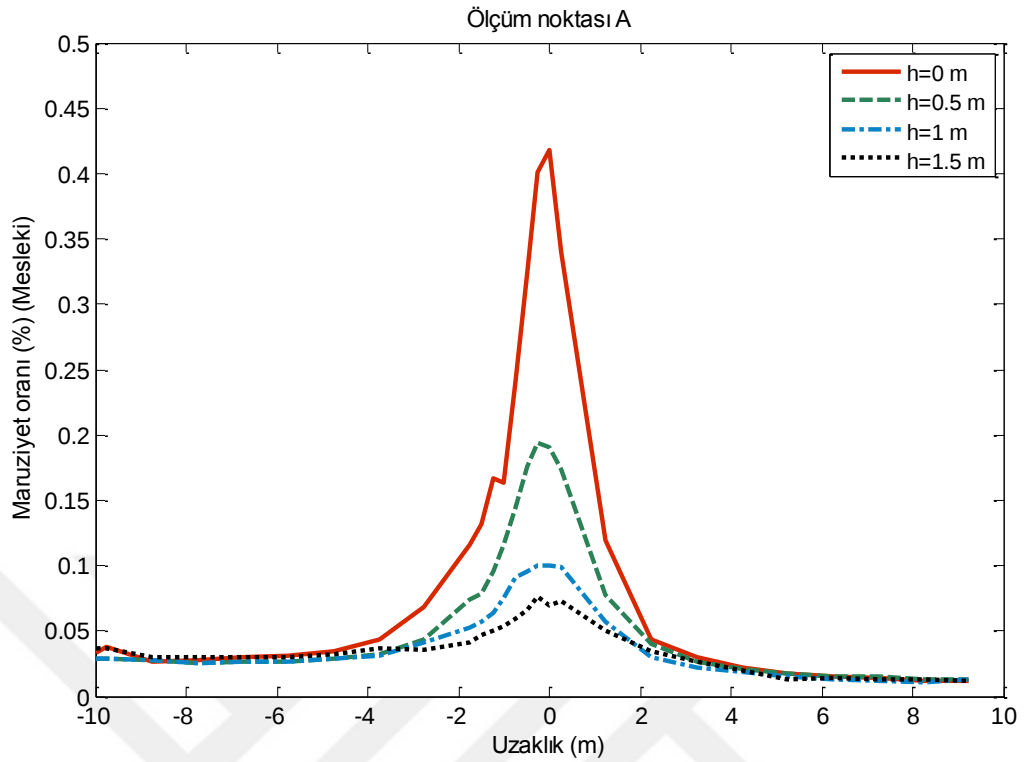


Şekil 5.8. Toplam manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi

Frekans seçmeli ölçümler elektromanyetik alanlara maruziyet oranının hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. Maruziyet oranı her farklı frekanstaki alan şiddetinin o frekansa özgü limit değer ile karşılaştırılmasına imkan vermektedir. ICNIRP'nin genel halk için olan ve mesleki limit değerleri referans alınarak hesaplanan genel halk ve mesleki maruziyet oranları % olarak sırasıyla Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da verilmiştir. Maruziyet oranının 100 değerini aşması limitlerin aşıldığı anlamını taşımaktadır. Maruziyet oranları incelendiğinde genel halk ve mesleki için sırasıyla %1.99 ve %0.42 sonuçlarının elde edildiği ve 100'ün oldukça altında kaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.9. ICNIRP limitlerine göre genel halk için maruziyet oranı



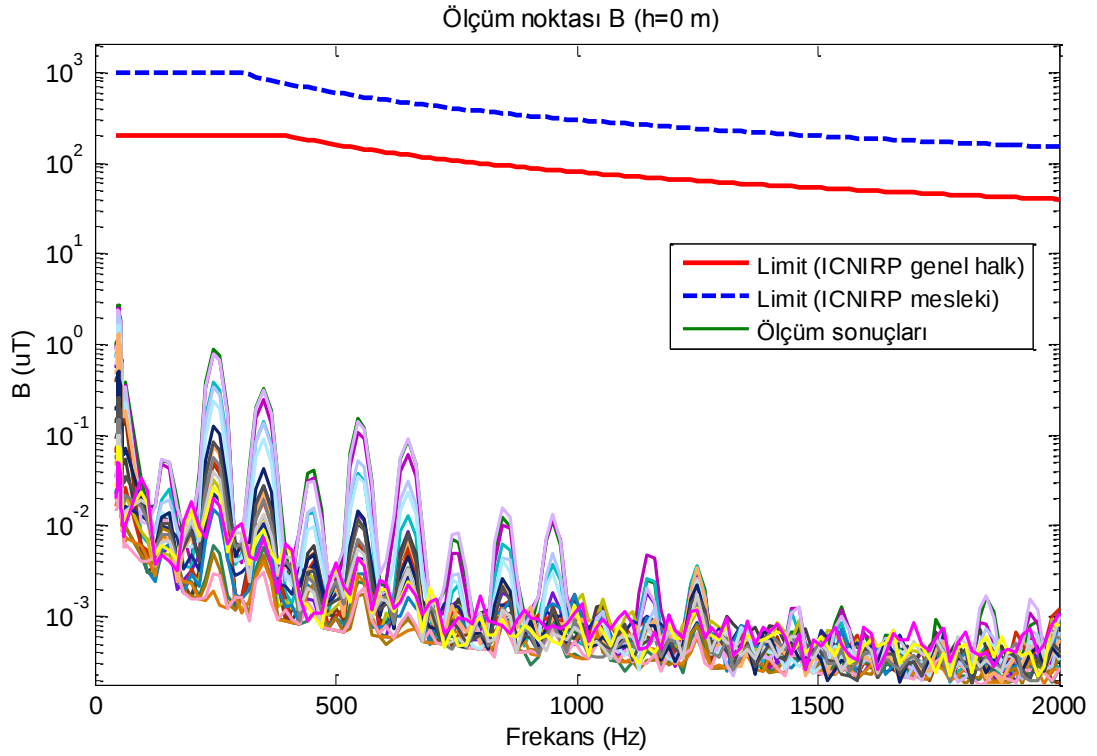
Şekil 5.10. ICNIRP limitlerine göre mesleki maruziyet oranı

5.3.4. B noktası frekans seçmeli ölçüm sonuçları

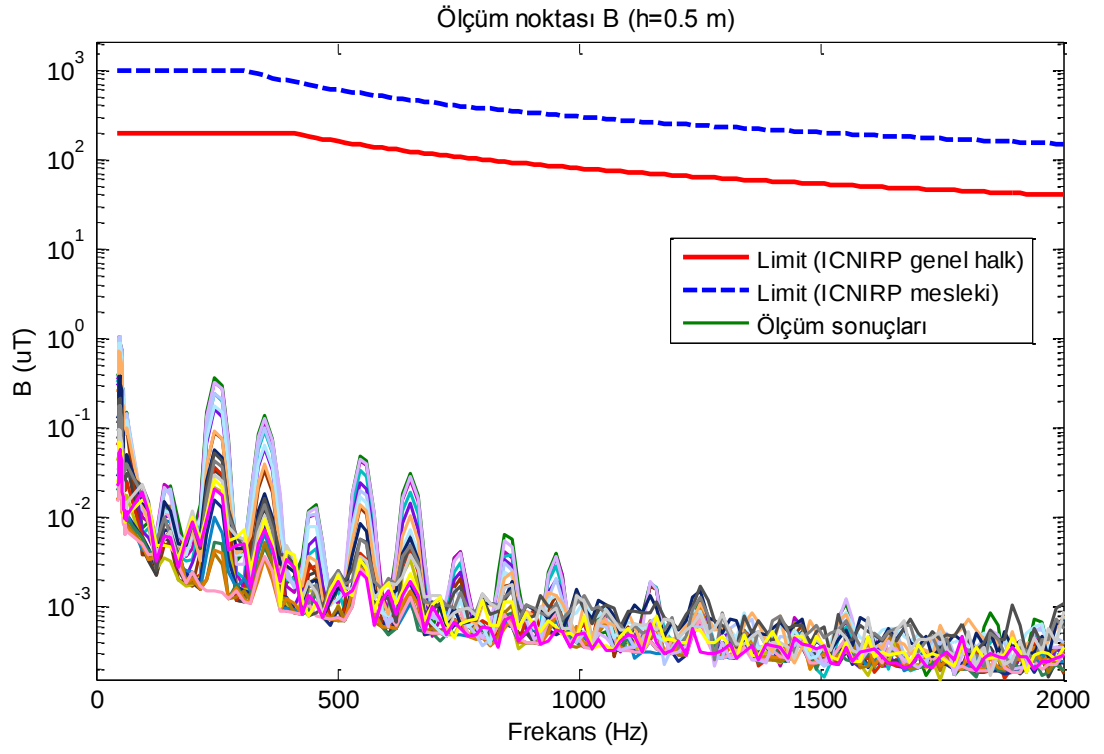
Toprak bir zemine sahip olan B noktasında A noktasında olduğu gibi 0, 0.5, 1 ve 1.5 m olarak seçilen yerden dört farklı yükseklikte (h) frekans seçmeli ölçümler yapılmıştır. Her yükseklik için, zemine paralel ve enerji nakil hattına dik doğrultuda hattın orta iletkeni ekseninden her iki tarafa 10 m uzanan çizgi üzerindeki 24 noktada manyetik akı yoğunluğu ölçülmüştür. Dört farklı yüksekliğin her biri için ayrı ayrı elde edilen 24 adet frekans seçmeli ölçüm sonucu 0, 0.5, 1 ve 1.5 m yükseklik değerleri için sırasıyla Şekil 5.11., Şekil 5.12., Şekil 5.13. ve Şekil 5.14.'de verilmektedir. Spektrumlar incelendiğinde en yüksek alan şiddetinin 50 Hz frekansında ölçüldüğü, harmoniklerin frekanslarında alan şiddetinin artan frekansla azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan yüksekliğin artmasıyla tüm frekanslardaki manyetik akı yoğunluğu değerleri azalmaktadır. Dört yükseklik için elde edilen tüm ölçüm sonuçları dikkate alındığında en yüksek ölçüm değerinin 50 Hz frekansında, 0 m yükseklikte ve hat merkezinde 2.72 μT olarak kaydedildiği görülmektedir. Bu

değer 0.5, 1 ve 1.5 m yüksekliklerinde sırasıyla 1.05, 0.56 ve 0.39 μT şeklinde azalmaktadır.

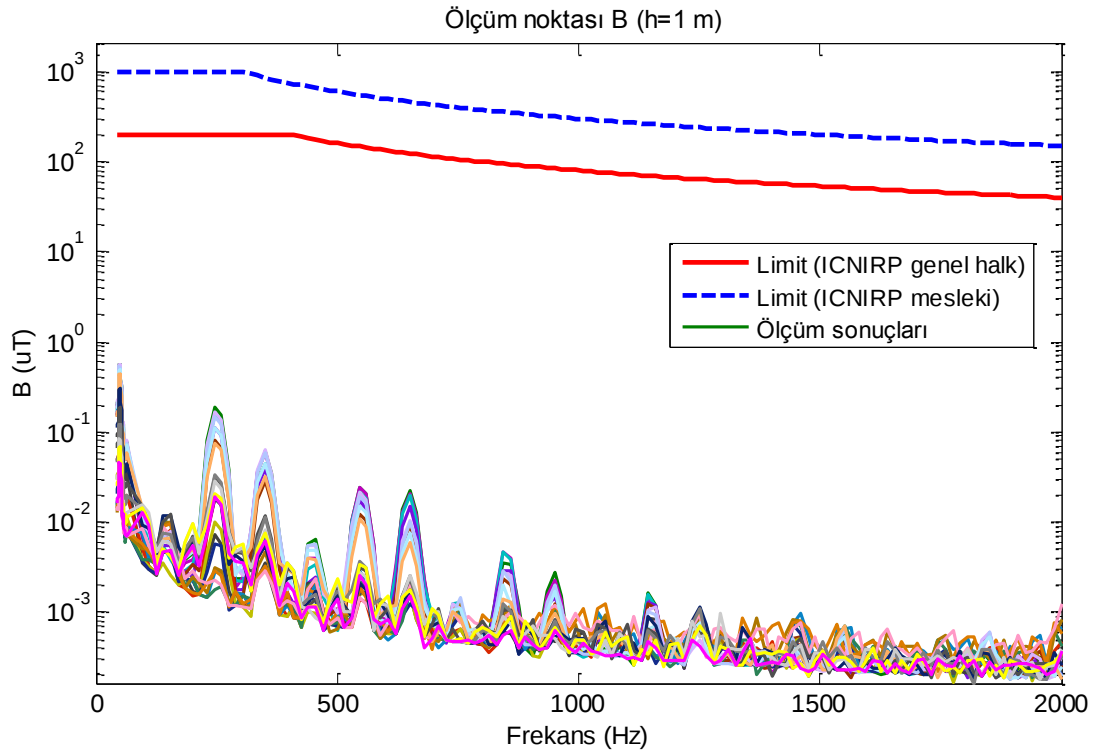
ICNIRP'nin frekansa bağlı olarak değişen limit değerleri ölçüm sonuçları ile birlikte grafiklerde çizilmiştir ve ICNIRP limitlerinin aşılmadığı görülmüştür.



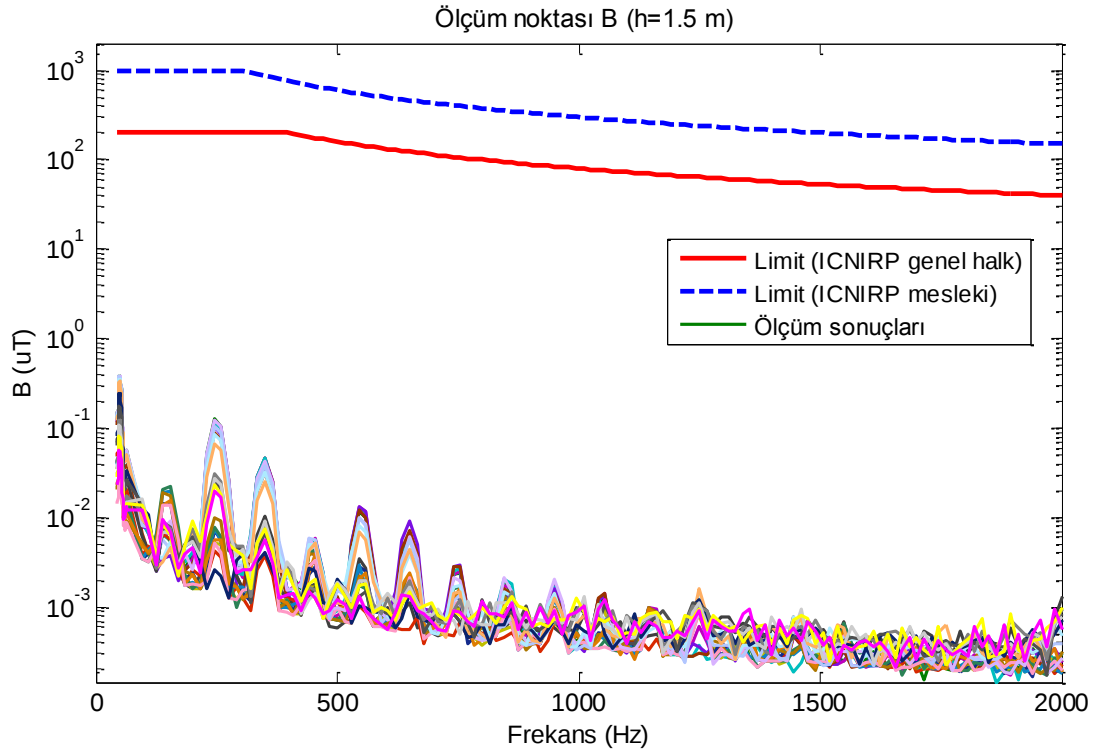
Şekil 5.11. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (B noktası, yerden yükseklik 0 m)



Şekil 5.12. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (B noktası, yerden yükseklik 0.5 m)



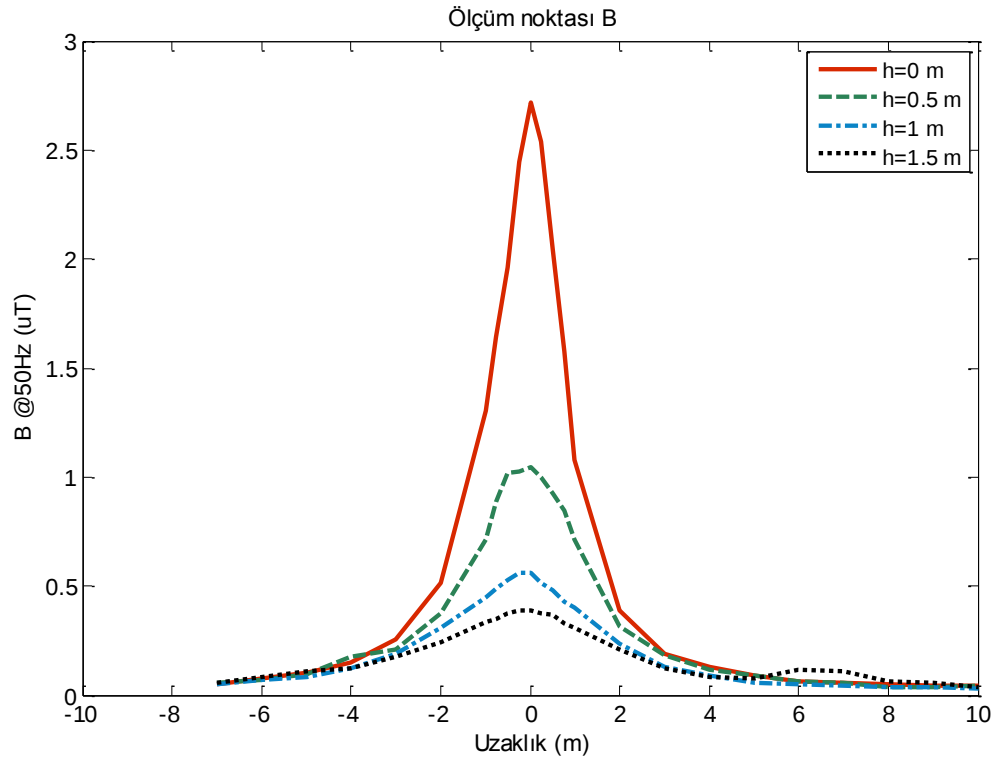
Şekil 5.13. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (B noktası, yerden yükseklik 1 m)



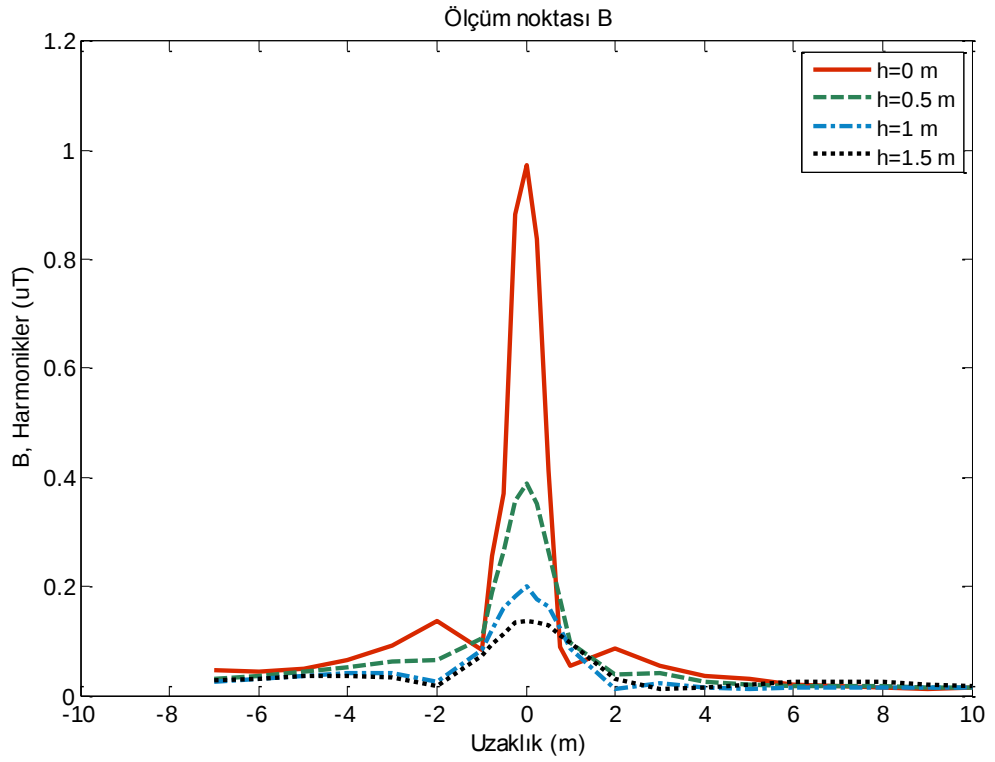
Şekil 5.14. Manyetik akı yoğunluğu frekans seçmeli ölçüm sonuçları (B noktası, yerden yükseklik 1.5 m)

Frekans seçmeli yöntem kullanılarak ölçülen bağlı manyetik akı yoğunluğu değerleri kullanılarak bütün ölçüm noktaları için toplam manyetik akı yoğunlukları hesaplanmıştır. Toplam manyetik akı yoğunluğunu oluşturan 50 Hz frekansındaki ve harmonik frekanslarındaki toplam alan değerleri de ayrıca hesaplanarak toplam alan değerine katkıları gösterilmiştir. Elde edilen alan değerlerinin hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi çizilmiştir ve 50 Hz, harmonik frekansları, toplam alan için sırasıyla Şekil 5.15., Şekil 5.16. ve Şekil 5.17.'de sunulmaktadır. Tüm alan değerleri yükseklik ve hat merkezine uzaklık arttıkça azalmaktadır. Elde edilen tüm sonuçlar içinde en yüksek alan değerleri 50 Hz, harmonik frekansları ve toplam alan için sırasıyla 2.72, 0.97 ve 2.89 μT olmuştur.

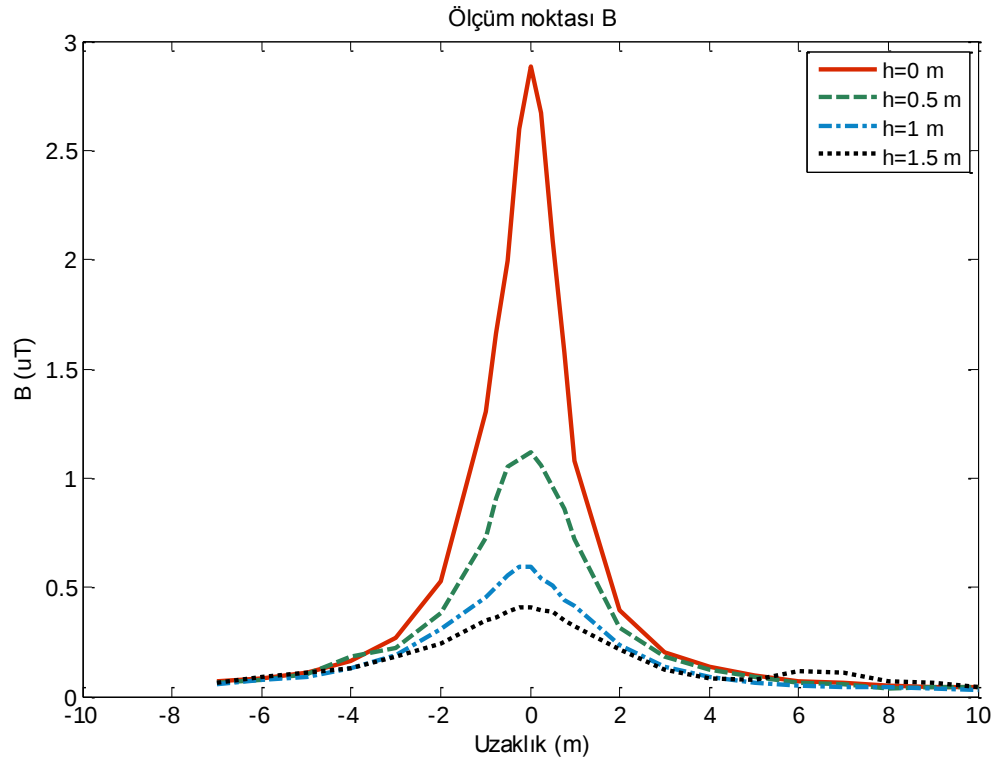
Hesaplanan toplam manyetik akı yoğunluğu değerleri ICNIRP tarafından belirlenen en düşük limit değer olan 200 μT (genel halk için) ve 1000 μT (mesleki) ile karşılaştırıldığında sonuçların ICNIRP limit değerinin oldukça altında olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.15. 50 Hz frekansındaki manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi

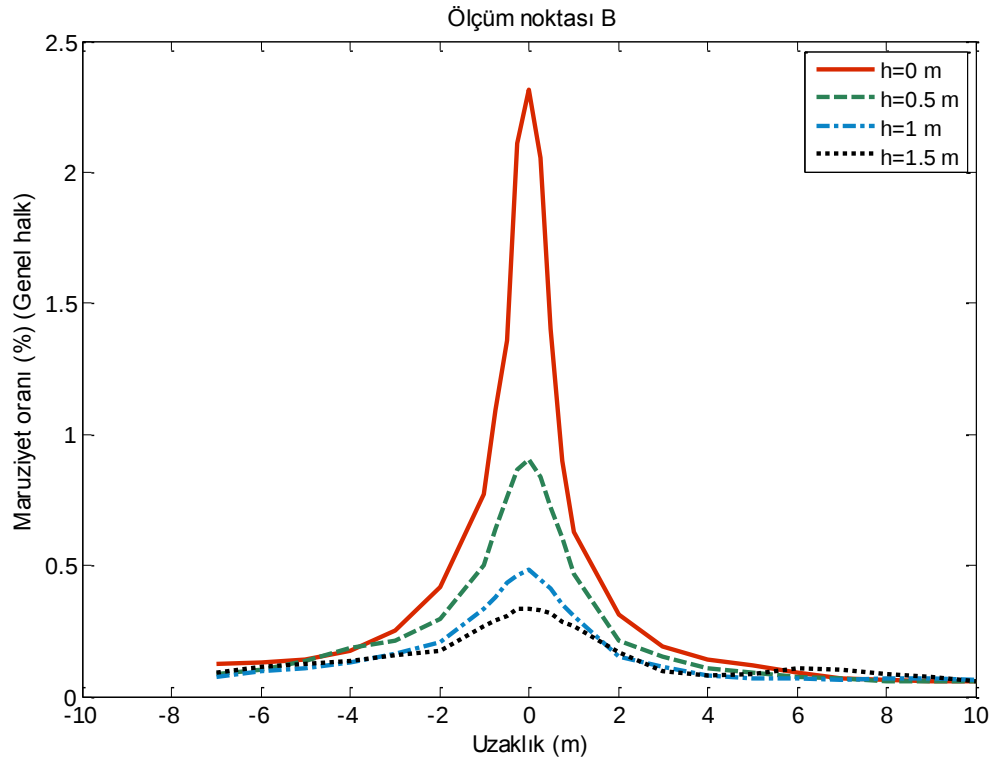


Şekil 5.16. Harmonik frekanslarındaki manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi

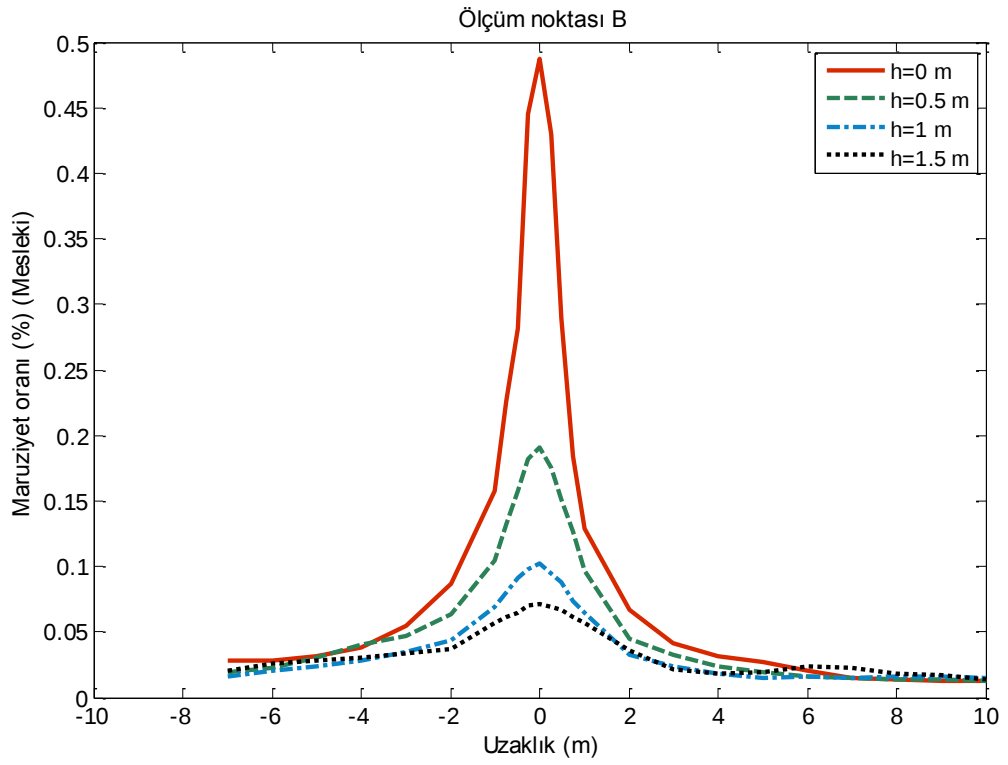


Şekil 5.17. Toplam manyetik akı yoğunluğunun hat merkezine olan yatay uzaklıkla değişimi

ICNIRP'nin genel halk için olan ve mesleki limit değerleri referans alınarak hesaplanan genel halk ve mesleki maruziyet oranları % olarak sırasıyla Şekil 5.18. ve Şekil 5.19.'da verilmiştir. Maruziyet oranının 100 değerini aşması limitlerin aşıldığı anlamını taşımaktadır. Maruziyet oranları incelendiğinde genel halk ve mesleki için sırasıyla %2.31 ve %0.49 sonuçlarının elde edildiği ve 100'ün oldukça altında kaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.18. ICNIRP limitlerine göre genel halk için maruziyet oranı



Şekil 5.19. ICNIRP limitlerine göre mesleki maruziyet oranı

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektromanyetik alanlar ve sağlık etkileri konusu araştırıldığında çok düşük frekanslı alanlara maruziyetin önemli bir yer tuttuğu görülmektedir. Çok düşük frekanslı alanların sağlık üzerine etkileri değerlendirilirken günlük yaşamda karşılaşılan elektromanyetik alan kaynaklarından yayılan alanların frekans ve genliklerinin doğru şekilde bilinmesi en önemli konulardan birisidir.

Çoğu zaman farkında olunmadan maruz kalınan ve oldukça yaygın olan elektromanyetik alan kaynaklarından biri de yer altı enerji nakil hatlarıdır. Çok düşük frekanslı alan kaynağı olan yer altı enerji nakil hatlarından yayılan alan seviyelerinin ölçülerek belirlenmesi, limit değerler ile karşılaştırılması, maruziyet oranlarının hesaplanması ve güvenli mesafelerinin ortaya koyulması bu çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır. Araştırma örnek olarak seçilen 31.5 kV yer altı enerji nakil hattı için yapılmıştır.

Enerji nakil hattının merkezinde ve yakın çevresinde 45-2000 Hz frekans aralığını kapsayacak şekilde manyetik akı yoğunlukları ölçülmüştür. Birisi geniş bant diğeri frekans seçmeli olmak üzere iki farklı ölçüm yapılmıştır. Geniş bant ölçümleri hattın merkezinde yerden 1 m yüksekte gerçekleştirilmiştir. Frekans seçmeli ölçümler ise seçilen iki noktada, yerden 0, 0.5, 1 ve 1.5 m yüksekliklerde, yatayda ise hattı merkeze alarak 10 m mesafeye kadar olan belli noktalarda yapılmıştır. Frekans seçmeli ölçümün yapıldığı iki noktadan birinde zemin kilitli kaldırım taşı döşeli (A noktası) diğeri ise topraktır (B noktası).

Geniş bant ölçüm sonuçları hat boyunca manyetik akı yoğunluğunun 0.13-0.53 μ T arasında değiştiğini göstermektedir. Hat iletkenlerinin halka şeklinde bulunduğu özel duruma sahip bir noktada ise alan değeri 2.32 μ T ölçülmüştür. Sonuçlar genel halk

ve mesleki için sırasıyla 200 μT ve 1000 μT olan ICNIRP limit değerlerinin altındadır.

Frekans seçmeli ölçümlerde en yüksek alan şiddetleri 0, 0.5, 1 ve 1.5 m yüksekliklerde sırasıyla A noktası için 2.31, 1.08, 0.53 ve 0.35 μT , B noktası için ise 2.72, 1.05, 0.56 ve 0.39 μT olarak 50 Hz frekansında elde edilmiştir. 45-2000 Hz frekans bandının tamamı için hesaplanan toplam alan değerleri zemin seviyesinde A ve B noktalarında sırasıyla en fazla 2.48 ve 2.89 μT olmuştur. Manyetik akı yoğunluğu değerlerinin hat merkezinden uzaklaştıkça azaldığı ve zeminin toprak olduğu B noktasında A noktasına göre biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Harmonik frekanslarındaki alanların toplam alan değerine katkılarının sınırlı olduğu 50 Hz frekansındaki alan değerinin belirleyici olduğu anlaşılmıştır.

Maruziyet değerlendirmesi için hesaplanan maruziyet oranları genel halk ve mesleki için sırasıyla A noktasında %1.99 ve %0.42, B noktasında ise %2.31 ve %0.49 olmuştur. ICNIRP tarafından belirlenen limit değerler referans alındığında en yüksek 2.89 μT ölçülen manyetik akı yoğunlukları limitlerin oldukça altında ve en yüksek %2.31 olarak hesaplanan maruziyet oranı 100 değerinden uzaktır.

Manyetik akı yoğunluğu için ICNIRP tarafından genel halk için belirlenen geçerli limit değer 200 μT olmakla birlikte yapılan araştırmalardan bazılarında 0.2 μT ve üzeri seviyelerdeki manyetik akı yoğunluğuna maruziyetin riskli olduğu, çocukluk dönemi lösemi hastalığı için risk faktörünü arttırabileceği bildirilmektedir. Elektromanyetik alanlara uzun süreli maruziyetin getirebileceği sağlık risklerini de değerlendiren İsviçre’de ICNIRP’ın limit değerlerine ilave olarak uzun zaman geçirilen yerlerde (konutlar, okullar, hastaneler, ofisler, oyun alanları vb.) 1 μT manyetik akı yoğunluğu sınırının aşılması öngörülmektedir. Benzer şekilde İtalya’da yeni kurulan ve planlanan enerji sistemleri için 3 μT sınırı kalite hedefi olarak kabul görmektedir. Bunlar gözönüne alınarak 0.2 μT seviyesi referans alındığında; bu çalışmada incelenen örnek hat için ölçülen manyetik akı yoğunluğu değerlerinin birçok noktada bu seviyeyi aştığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar yer altı enerji nakil hattının özelliklerine, ölçüm noktasındaki konfigürasyona ve

ölçümlerin yapıldığı zaman diliminde hattın içinde bulunduğu şartlara yakından bağlıdır. Bu sebeple incelenen hattın farklı çalışma şartları için ve farklı özellikteki yer altı hatları için farklı sonuçlar elde edilebilir.

Bu çalışmanın devamı olarak farklı özelliklerde ve çalışma koşullarındaki çok sayıda yer altı ve havai hatlar için bu çalışma genişletilerek daha kapsamlı ölçüm verisi elde edilebilir. Enerji nakil hatları için uzun süreli ölçümler yapılarak alan şiddetlerinin günlük, mevsimlik, yıllık değişimleri dikkate alınarak daha hassas maruziyet değerlendirmelerine ulaşılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Paolino L, Sebillo M, Tortora G, Vitiello G. "Monitoring Electromagnetic Pollution: A Gis-Based Visual Approach". Lecture Notes in Computer Science, 2184, 90-101, 2001.
- [2] Bertocco M, Farias M, Offelli C, Sona A. "A Measurement System for the Evolution of Environmental Electromagnetic Field". Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Anchorage, USA, 21-23 May 2002.
- [3] Bornkessel C, Schubert M, Wuschek M, Schmidt P. "Measurement and Calculation of General Public Electromagnetic Exposure Around GSM and UMTS Cellular Base Stations". International ITG-Conference on Antennas, Munich, Germany, 28-30 May 2007.
- [4] Radovic D, simic M. "System for Automatic Measurement of Signal Level in GSM 900/1800 Channel with GPS Localization". 10th Telecommunication Forum Telfor, Belgrade, Serbia, 26-28 Nov 2002.
- [5] Henderson SI, Bangay MJ. "Survey of RF Exposure Levels from Mobile Telephone Base Stations in Australia". Bioelectromagnetics, 73-76, 2005.
- [6] Farag A.S, Hossam-Eldin A.A, Karawia H.M, " Magnetic Fields Management For Underground Cables Structures". 21st International Conference on Electricity Distribution. Frankfurt, 6-9 June 2011.
- [7] Önal E. Elektromanyetik alanların canlı organizmalara etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2005.
- [8] Elhasoğlu D. Elektromanyetik kirliliğin zararlı etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2006.
- [9] Tekintanış Y. Cep telefonları tarafından oluşturulan elektromanyetik alanın kobay EKG'si üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye, 2006.

- [10] İnce T. Elektromanyetik kirlilik. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [11] Çerezci O, Kartal Z, Pala K, Türkkan A. “Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri”. Nilüfer Belediyesi, Bursa Türkiye, 2012.
- [12] İlhan MN. Bir tıp fakültesi hastanesinde elektromanyetik alan haritası çıkarılması ve sağlık çalışanlarında sağlık etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [13] Cansız M, Kurt MB, “Drive Test Yöntemi ile Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi”. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 3(2), 101-110, 2012.
- [14] Kumru C.F, Arıkan O, Kocatepe C, “Analysis Of Effects Of Electric Field Strength Occurred By Energy Transmission Lines On Human Health”. Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 2014.
- [15] İl N, Özen Ş, Carlak H.F, Çakır M. “Yer altı Enerji Kablolarının Çevresinde Oluşan Manyetik Alanların Analizi ve Kontrolü”. Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2015.
- [16] Aktaş B, Coşkun Ö. “Bir Elektrik Dağıtım Firması Çalışanları Üzerindeki Elektromanyetik Alanların Olası Etkilerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi” Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2016.
- [17] Mustafa N. İlhan, Bir Tıp Fakültesi Hastanesinde Elektromanyetik Alan Haritası Çıkarılması Ve Sağlık Çalışanlarında Sağlık Etkilerinin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara 2008.
- [18] WHO, Extremely Low Frequency Fields, Environmental Health Criteria No:238, WHO, Geneva, Switzerland 2008.
- [19] Cowan, D., Giddestone, R., Safe as Houses, Gatewayn Boks, Bath, UK, 1995.
- [20] WHO, Electromagnetic fields and public health, exposure to extremely low frequency electromagnetic fields, Fact Sheet No:322, WHO, Geneva, Switzerland 2007.
- [21] Fife, B., Health Hazard of Electromagnetic Radiation, Health Wise Publication, Colorado Springs, USA, 1998.
- [22] WHO, Electromagnetic Fields 300Hz-300GHz, Environmental Health Criteria 137, WHO, Geneva, Switzerland, 1993.

- [23] Düzgün, S., Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Zararlı Etkileri, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana,2009.
- [24] Şeker, S., Çerezci, O. Radyasyon Kuşatması, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi-matbaası, 1-189, İstanbul. 2000.
- [25] Seyhan, N., Elektromanyetik Kirlilik ve Etkileri, Korunma Yöntemleri, WHO Uluslararası Elektromanyetik Alan Projesi, Ulusal ve Uluslararası Politikalar. Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu,28, 2013.
- [26] Şeker, S., Çerezci, O. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi matbaası,1-468, 1997.
- [27] Wertheimer N and Leeper E, Electrical wiring configurations and childhood cancer. American journal of epidemiology, 109(3), 273–284. 1979
- [28] Wertheimer, N., Leeper, E. . Adult cancer related to electrical wires near the home. International Journal of Epidemiology, 11(4), 345-355. 1982
- [29] Kaprio, J., Varjonen, J., Romanov, K., Heikkilä, K., Koskenvuo, M.,Magnetic fields of transmission lines and depression. American journal of epidemiology, 146(12), 1037-1045. 1997.
- [30] Yamazaki, S., Sokejima, S., Mizoue, T., Eboshida, A., Kabuto, M., Yamaguchi, N., Akiba, S., Fukuhara, S., Nitta, H.Association between high voltage overhead transmission lines and mental health: A crosssectional study, Bioelectromagnetics, 27(6):473-478. 2006.
- [31] Van Wijngaarden, E., Savitz, D. A. Occupational sunlight exposure in relation to suicide among electric utility workers. American journal of industrial medicine, 38(2), 149-154. 2000.
- [32] Ahlbom A, Day N, Feychting M, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. British journal of cancer, 83(5), 692–698. 2000.
- [33] Li DK, Odouli R, Wi S, et al. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. Epidemiology, 13(1), 9–20. 2002.

- [34] Baumgardt-Elms, C., Schümann, M., Ahrens, W., Broman, K., Stang, A., Jahn, I., Jöckel, K.-H. Residential exposure to overhead high-voltage lines and the risk of testicular cancer: results of a population-based case-control study in Hamburg (Germany). *International archives of occupational and environmental health*, 78(1), 20-26. 2005.
- [35] Schreier, N., Huss, A., Rösli, M. The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland. *Sozial-und Präventivmedizin*, 51(4), 202-209. 2006.
- [36] Feizi, A., Arabi, M. A. (2007). Acute childhood leukemias and exposure to magnetic fields generated by high voltage overhead power lines-a risk factor in Iran. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 8(1), 69. 2007.
- [37] International Agency for Research on Cancer (IARC). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans*, vol 80. 2002.
- [38] Doç Dr Süleyman Demir (ed.) *Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı* (Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, 86-118, Ocak 2013.
- [39] Öznur Kablo Ürün Kataloğu, 98.
- [40] TEDAŞ, *Elektrik dağıtım şebekeleri enerji kabloları montaj usul ve esasları*, 1-17, Ankara, Eylül 2008.
- [41] Griffiths, D.J., *Elektromagnetik Teori*, Arte Güven, 404, İstanbul 1996.
- [42] Pehlivan, F., *Biyofizik*, Pelin Ofset Matbaası, 343-361, Ankara, 1989.
- [43] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP. *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)*. *Health Phys.* 99, 818-836, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nur GEZER

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2014
Lise	Bursa Anadolu Kız Lisesi	2009

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Kaleseramik Özel OSB	Elektrik İşletme Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce