İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Fırat ÜNSAL

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Programı: Elektrik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN

HAZİRAN 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Fırat ÜNSAL

(504001143)

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Programı: Elektrik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN

HAZİRAN 2005

ÖNSÖZ

Öncelikle, her zaman olduğu gibi yoğun çalışmalarım sırasında benden sonsuz desteğini esirgemeyen ve benim her zaman başarıyı yakalayacağıma inanan aileme teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince, desteğini benden esirgemeyen ve çalışmalarıma yön verip, yöneten danışman hocam, Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN' e teşekkür ederim.

Bu çalışmada yer alan ölçümleri yaparken kullanılan ölçüm cihazını ve teorik bilgi ve çalışmalarını benimle paylaşan Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ' ye teşekkür ederim.

Oyak-Renault Oto. Fab. A.Ş.' nde yapılan ölçümler ve tez çalışmam sırasında bana gösterdiği ilgi ve yardımları için başta Mekanik Bakım Atelye Şefi Sn. Doğan KALELİOĞLU' na ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Detaylı bilgilerin verildiği bu tezin, bu konuda çalışma yapacak arkadaşlarıma iyi bir kaynak olacağını umuyorum.

Haziran 2005 Fırat ÜNSAL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR
TABLO LİSTESİ
ŞEKİL LİSTESİ
SEMBOL LİSTESİ
ÖZET
SUMMARY

1. GİRİŞ 1

2. TEMEL KAVRAMLAR 3

2.1 Giriş 3
2.2 Elektrik Alan 3
2.3 Magnetik Alan 4
2.4 Elektromagnetik Alan 7
2.5 Elektromagnetik Radyasyon 8
2.5.1 İyonlaştırıcı Radyasyon 8
2.5.2 İyonlaştırmayan Radyasyon 8
2.6 Özgül Soğurma (SA) ve Özgül Soğurma Hızı (SAR) 9
2.7 Frekans ve Dalga Boyu 10
2.8 Elektromagnetik Spektrum 11
2.9 Epidemiyoloji 12
2.10 Elektromagnetik Duyarlılık 12
2.11 Anten ve Anten Çeşitleri 13
2.12 Düşük Frekanslı Elektrik Alan Kuplajı 15
2.13 Düşük Frekanslı Magnetik Alan Kuplajı 15
2. 14 İnsan Vücudunun Elektromagnetik Özellikleri 16

3. YÜKSEK GERİLİM HATLARININ ELEKTROMAGNETİK ALAN DEĞERLERİ 22

3.1 Giriş 22
3.2 Elektrik Alan Değerlerinin Hesabı 22
3.3 Magnetik Alan Değerlerinin Hesabı 24
3.4 Carnegie Mellon Üniversitesi'nin Yayınladığı Elektromagnetik Alan Değerleri 33
3.5 Gaussmetre 33

4. ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDE YARATTIĞI ETKİLER 35

4.1 Giriş 35
4.2 50 Hz Frekanslı Değişken Elektromagnetik Alanların Etkileri 35
4.2.1 Giriş 35
4.2.2 Yapılan Araştırmalar ve Deney Koşulları 36
4.2.3 Deney sonuçları 38
4.3 60 Hz Frekanslı Değişken Elektrik Alanların Etkileri 39
4.3.1 Giriş 39
4.3.2 Araştırma Yeri 42
4.3.3 X Işını Radrasyonu 42
4.3.4 Elektrik Alan Şiddeti 43
4.3.5 Vücut Akımları 44
4.3.6 Vücut Akımının Dalga Şekli 45
4.3.7 Yüksek Gerilim Hat İşçilerinin Tıbbi Bakımdan İncelenmesi 46
4.3.8 Tıbbi İncelemenin Sonuçları 48
4.3.9 Genel Sonuçlar 48
4.4 Alan Etkisinde Çalışan Kişilerin Tıbbi Denetimi 49
4.4.1 Giriş 49
4.4.2 Uzmanlar Tarafından Yapılan İncelemeler 49
4.4.3 Elde Edilen Sonuçlar 51
4.4.4 Değerlendirme 54
4.4.5 Sonuçlar 55
4.5 Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri 55
4.5.1 Hücreler Üzerine Etkileri 59
4.5.2 Sinir Sistemi Üzerine Etkileri 62
4.5.3 Endokrin Sistemi Üzerine Etkileri 63
4.5.4 Kardiyovasküler sistem Üzerine Etkileri 64
4.5.5 Alzheimer Hastalığı Üzerine Etkileri 65
4.6 Elektromagnetik Alanların Kanser Üzerine Etkisi 66
4.7 Çok Düşük Frekanslı (ELF) Alanların Etkileri 70

5. ELEKTROMAGNETİK ALANLAR İÇİN BELİRLENMİŞ GÜVENLİK SINIRLARI VE KORUMA YÖNTEMLERİ 72

5.1 Giriş 72
5.2 Yurt Dışında Belirlenmiş Güvenlik Sınırları 73
5.3 Türkiye'de Belirlenmiş Güvenlik Sınırları 75
5.3.1 Temel Sınırlamalar 75
5.3.2 Referans Seviyeleri 77
5.4 Düşük Frekanslı (0 Hz – 10 KHz) Işınımların İnsan Sağlığına Etkisi 78
5.5 IEEE Standartları 81
5.6 Dünya Sağlık Örgütü' nün (W.H.O.) Yayınladığı Referans Seviyeler 81
5.7 Elektromagnetik Alanlardan Güç Soğurma 83
5.8 Yüksek Frekanslı Elektromagnetik Işımanın Etkileme Sınırları ve Standartları 84

5.9 Elektrik İletim Hatlarından Kaynaklanan Elektromagnetik Alan Şiddeti ve Türkiye' deki Durum 89

5.10 Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromagnetik Şiddeti ve Türkiye' deki Durum 93
5.11 Mesleki Maruziyetler İçin Sınır Değerler 99
5.12 Türetilmiş Limitler 99
5.13 Limitlerin Ülkelere Göre Karşılaştırılması 102
5.14 Sonuç 102

6. ELEKTRİKLİ CİHAZLARIN ELEKTROMAGNETİK ALAN DEĞERLERİ 103

6.1 Giriş 103
6.2 Genel Bilgi 103
6.3 Yapılmış Ölçmeler ve Sonuçları 106
6.3.1 Evde Yapılmış Ölçümler 107
6.3.2 Oyak-Renault Oto. A.Ş. Fabrikasında Yapılan Ölçümler 108
6.3.3 154 kV' luk Boğaz Atlaması Civarında Yapılan Ölçümler 110
6.4 Sonuç 112

7. ELEKTROMAGNETİK ALANLARDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ 113

7.1 Giriş 113
7.2 Alınacak Önlemler 114
7.3 Ekranlama 116
7.4 Sonuç 117

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 118

KAYNAKLAR 123
EKLER 127
ÖZGEÇMİŞ 142

KISALTMALAR

SA	: Özgül Soğurma
SAR	: Özgül Soğurma Oranı
MKSA	: Metre-Kilogram-Saniye-Amper
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
RF	: Radyo Frekansı
ES	: Electromagnetic Sensitivity
EM	: Elektromagnetik
ELF	: Extremely Low Frequency
EMA	: Elektromagnetik Alan
O.E.Ş	: Ohio Elektrik Şirketi
A.E.Ş.	: Appalachian Elektrik Şirketi
IRPA	: International Radiation Protection Association
ICNIRP	: International Commission on Nonionizing Radiation Protection
ANSI	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
FCC	: Federal Communications Commission
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
WHO	: World Health Organization
NIEHS	: National Institute of Environmental Health Sciences
NHMRC	: National Health and Medical Research Council
E.İ.H.	: Elektrik İletim Hatları
ILO	: International Labour Organization
NIR	: Near Infrared Spectroscopy
EPRI	: Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü
ITRI	: Illinois Teknoloji Araştırma Enstitüsü
EPA	: Amerika Çevre Kurumu
BM	: Birleşmiş Milletler
EMF	: Electromagnetic Field
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 İnsan kafasındaki tipik dokular ve parametreleri.....21

Tablo 3.1 Elektrik Alan Hesabında Kullanılan Direk Özellikleri.....23

Tablo 3.2 Magnetik Alan Hesabında Kullanılan Direk Özellikleri.....25

Tablo 3.3 Ölçüm Sonuçları.....33

Tablo 4.1 345 kV' luk enerjili bir iletkene bağlı bir hava asansörü kovasındaki bir işçinin vücudundaki elektrik alan şiddetleri üzerine farklı kova ekranlama derecelerinin etkileri.....43

Tablo 4.2 Hat işçisinin konumuna göre vücut akımlarının değerleri.....44

Tablo 4.3 Farklı kova ekranlama derecelerine göre vücuttan akan akım değerleri……...44

Tablo 4.4 Araştırma için seçilmiş işçiler tarafından yapılan enerjili hat bakımı……..47

Tablo 4.5 Periyodik İncelemelerde Kaydedilen Değişiklikler.....52

Tablo 4.6 Kan Çözümlenmesi Sonuçları…….....52

Tablo 4.7 Hastalık Sebebiyle Görevden Uzak Kalış 52

Tablo 4.8 Hastalık Sebebiyle İzin Alanların Rahatsızlıklarına Göre Dağılımları ……...……..53

Tablo 4.9 Alçak Gerilim Hat İşçileri Üzerinde Periyodik İncelemelerde Kaydedilen Değişiklikler.....53

Tablo 4.10 Kan Çözümlenmesi…….53

Tablo 4.11 İzinli Geçirilen Süre……54

Tablo 4.12 Hastalık Sebepleriyle İzinli Geçirilen Sürelerin Dağılımları……..54

Tablo 4.13 İletim Hatlarının Çevrelerinde Oluşturdukları Elektrik Alan Değerleri……..71

Tablo 4.14 İletim Hatlarının Çevrelerinde İndükledikleri Akım Değerleri……...71

Tablo 5.1 ABD' de eyaletlerdeki elektromagnetik alan standartları.....73

Tablo 5.2 Avustralya' daki Standartlar.....74

Tablo 5.3 IRPA Tarafından Belirlenmiş Sınır Değerler.....75

Tablo 5.4 İndüklenen Akım Yoğunluğu (İşçiler için).....76

Tablo 5.5 İndüklenen Akım Yoğunluğu (Genel halk için).....76

Tablo 5.6 İşçiler İçin temas Akımı Sınırlaması.....76
Tablo 5.7 Genel Halk İçin Temas Akımı Sınırlaması.....76
Tablo 5.8 İşçiler İçin Elektrik Alan Referans Seviyeleri.....77
Tablo 5.9 Genel Halk İçin Elektrik Alan Referans Seviyeleri.....77
Tablo 5.10 İşçiler İçin Magnetik Alan Referans Seviyeleri.....77
Tablo 5.11 Genel Halk Magnetik Alan Referans Seviyeleri.....78
Tablo 5.12 Oluşan akım yoğunluğuna göre biyolojik etkiler.....79
Tablo 5.13 İndüklenen akım yoğunluğunun sınırları.....79
Tablo 5.14 Temas akımı ile ilgili sınırlamalar.....79
Tablo 5.15 Elektrik alanı ile ilgili referans değerleri.....80
Tablo 5.16 Magnetik akı yoğunluğu referans değerleri.....80
Tablo 5.17 Elektromagnetik Maruziyette Vücudun Çeşitli Dokularına Uygulanan Kısıtlamalar.....81
Tablo 5.18 WHO Tarafından Türkiye için Belirtilen Referans Seviyeler.....81
Tablo 5.19 WHO Tarafından Kanada için Belirtilen Referans Seviyeler.....82
Tablo 5.20 WHO Tarafından USA için Belirtilen Referans Seviyeler.....83
Tablo 5.21 RF ışımasının mesleki etkilenme sınırı (IRPA 1988a).....86
Tablo 5.22 RF Işımasının genel halk sağlığı için etkilenme sınırı (IRPA 1988a)….....86
Tablo 5.23 Ortadalga Radyo , FM Radyo ve TV bandları , genel halk sağlığı için etkilenme sınır değerleri.....87
Tablo 5.24 GSM bandları genel halk sağlığı için etkilenme sınır değerleri.....87
Tablo 5.25 TS ENV 50166-1/Nisan 1996 İnsanların Elektromagnetik AlanlaraMaruz Kalması- Düşük Frekanslar (0-10 kHz) Genel Halk Sağlığı için Elektrik ve Magnetik Alanlarla İlgili Referans Seviyeleri.....92
Tablo 5.26 ICNIRP Klavuzunda verilen Elektrik ve Magnetik Alanların Kamusal Alanlarla İlgili Referans Değerleri.....93
Tablo 5.27 ICNIRP Klavuzunda verilen Elektrik ve Magnetik Alan Frekansı 10 GHz' e Kadar Olan Kamusal Alanların Zamanla Değişim Sınırları...93
Tablo 5.28 900 ve 1800 MHz' de Kontrolsüz Etkilenme İçin ICNIRP, IEEE ve FCC Standartlarının Karşılaştırması.....95
Tablo 5.29 900 ve 1800 MHz' de Türkiye'de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler.....96
Tablo 5.30 900 ve 1800 MHz' de Kontrollü Etkilenme İçin ICNIRP, IEEE ve FCC Standartlarının Karşılaştırması.....96

Tablo 5.31 10 kHz-60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromagnetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik Sınır Değerleri.....97

Tablo 5.32 IRPA NIR ve IEEE C95.1 Standartlarından Türetilmiş Mesleki Maruz Kalma Limitleri 99

Tablo 5.33 IRPA NIR ve IEEE C95.1 Standartlarından Türetilmiş Mesleki Olmayan Maruz Kalma Limitleri.....99

Tablo 5.34 ICNIRP Lüretilmiş Limitleri (işyerleri için).....100

Tablo 5.35 ICNIRP Türetilmiş Limitleri (genel halk için).....100

Tablo 5.36 Bazı Ülkelerde Kabul Edilmiş Standart Değerlerin Karşılaştırması……..102

Tablo 6.1 Elektrikli Aletlerin Magnetik Alan Değerleri.....107

Tablo 6.2 Elektrikli Aletlerin Magnetik Alan Değerleri.....107

Tablo 6.3 Evde Kullanılan Çeşitli Cihazlara Ait Magnetik Alan Ölçüm Değerleri……108

Tablo 6.4 Oyak-Renault Oto. A.Ş.'ndeki Bazı Endüstriyel Ekipmanlara Ait Magnetik Alan Değerleri.....109

Tablo 6.5 Oyak-Renault Oto. A.Ş.'ndeki Bazı Endüstriyel Ekipmanlara Ait Elektrik Alan Değerleri.....109

Tablo 6.6 Oyak-Renault Oto. A.Ş. Fabrika Bölgesindeki Bazı Elektrik ve Magnetik Alan Değerleri.....110

Tablo 6.7 154 kV' luk Boğaz Atlaması ve 34,5 kV' luk İletim Hatlarının Elektrik Alan Değerleri.....110

Tablo 6.8 154 kV' luk Boğaz Atlaması ve 34,5 kV' luk İletim Hatlarının Magnetik Alan Değerleri.....110

Tablo 6.9 Radyofrekans Elektromagnetik Alana Maruz Kalma Referans Değerleri……112

Tablo C.1 Elektrikli Aletler ve Magnetik Alan Değerleri.....132

Tablo C.2 Bazı Elektrikli Ev Aletlerine Ait Ölçülmüş Magnetik Alan Değerleri……134

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Elektrik alanda artı ve eksi yüklere etkiyen kuvvetlerin yön ve doğrultuları……4

Şekil 2.2 Akkor Flamanlı Bir Aydınlatma Armatürünün Açık Konumdayken Yarattığı Elektrik Alan, Magnetik Alan ve Çevreye Etkileri……5

Şekil 2.3 İçinden akım geçen iki iletken arasındaki kuvvet…….6

Şekil 2.4 İçinden, aynı ve zıt yönlü akım geçen iki iletkene etkiyen kuvvet…...7

Şekil 2.5 Elektrik ve Magnetik Alanın birlikte bulunduğu Elektromagnetik Ortam…….7

Şekil 2.6 Dalga……...10

Şekil 2.7 Elektromagnetik Alan ve Radyasyon Kaynakları…… 11

Şekil 2.8 Yönsüz Anten……..14

Şekil 2.9 Dar Açılı Işıma Örüntüsü……14

Şekil 2.10 Geniş Açılı Işıma Örüntüsü…….15

Şekil 2.11 Kas tipi bir dokunun ε_r' ve σ değerlerinin frekansla değişimi…….17

Şekil 2.12 Tabaka Modeli……18

Şekil 2.13 Silindirik Model……..19

Şekil 2.14 Silindirik modelden elde edilmiş SAR-f ilişkisi……...……..19

Şekil 2.15 Beş tabakalı silindirik modelden elde edilen SAR-f ilişkisi…… ...20

Şekil 2.16 1 mW / cm^2 güç yoğunluklu bir dalgaya maruz kalan bir insan için çeşitli modellerden hesaplanmış SAR-f ilişkisine ait grafik……...21

Şekil 3.1 Direk Tipi ……...23

Şekil 3.2 66kV ve 154kV'luk Enerji İletim Hatları çevresinde hattan uzaklıkta elektrik alan şiddetin değişimi…….23

Şekil 3.3 Direk Tipi……....24

Şekil 3.4 A Tipi Direk kullanılan hatta yerden 1m, 1.5m, ve 2m. yükseklikte magnetik alan şiddetinin yatay (Hx) (a), düşey (Hy) (b) ve bileşke H (c) değerlerinin direk ekseninden uzaklıkla değişimi……..27

Şekil 3.5 TA1 Tipi Direk kullanılan hatta yerden 1m, 1.5m, ve 2m. yükseklikte magnetik alan şiddetinin yatay (Hx) (a), düşey (Hy) (b) ve bileşke H (c) değerlerinin direk ekseninden uzaklıkla değişimi……..28

Şekil 3.6 4A1 Tipi Direk kullanılan hatta yerden 1m, 1.5m, ve 2m. yükseklikte magnetik alan şiddetinin yatay (Hx) (a), düşey (Hy) (b) ve bileşke H (c) değerlerinin direk ekseninden uzaklıkla değişimi……..29

Şekil 3.7 A Tipi direk kullanılan hatta, magnetik alan şiddetinin yerden 1m yükseklikte 250 A, 500A ve 750A için direk eksenlerinden uzaklıkla değişimi……...30

Şekil 3.8 TA1 Tipi direk kullanılan hatta, magnetik alan şiddetinin yerden 1m yükseklikte 250 A, 500A ve 750A için direk eksenlerinden uzaklıkla değişimi……...30

Şekil 3.9 4A1 Tipi direk kullanılan hatta, magnetik alan şiddetinin yerden 1m yükseklikte 250 A, 500A ve 750A için direk eksenlerinden uzaklıkla değişimi……...31

Şekil 3.10 A Tipi direk kullanılan hatta, magnetik akı yoğunluğunun yerden 1m yükseklikte 250A, 500A ve 750A için direk ekseninden uzaklıkla değişimi……...31

Şekil 3.11 TA1 Tipi direk kullanılan hatta, magnetik akı yoğunluğunun yerden 1m yükseklikte 250A, 500A ve 750A için direk ekseninden uzaklıkla değişimi……...32

Şekil 3.12 4A1 Tipi direk kullanılan hatta, magnetik akı yoğunluğunun yerden 1m yükseklikte 250A, 500A ve 750A için direk ekseninden uzaklıkla değişimi……...32

Şekil 4.1 Elektrik ve Magnetik Alanın İnsan Vücudunda Gözlendiği Durumlar…….37

Şekil 4.2 345 kV' luk bir kafes direk üzerindeki elektrik alan şiddetini ölçen topraklanmamış hat işçileri…….41

Şekil 4.3 Arkalığı ve üst kenarı olan bir kova içindeki hat işçileri……41

Şekil 4.4 Hat işçisinin vücudundan geçen 100 μA' lik indükleme akımının dalga şekli……...45

Şekil 4.5 Hat işçisinin vücudundan geçen 200 μA'lik indükleme akımının dalga şekli…….46

Şekil 4.6 Korona belirtisinin görüldüğü 400 μA'lik indükleme akımının dalga şekli…….46

Şekil 5.1 ICNIRP Klavuzunda Yayınlanan Zamanla Değişen Magnetik Alan Gücü için Referans Değerler ……..88

Şekil 5.2 NIESH Tarafından Yayınlanan 115 kV' luk İletim Hattının Yakınlarında Oluşan Magnetik Alan Değerleri……...89

Şekil 5.3 500 kV' luk İletim Hattı Çevresinde Oluşan Elektrik Alan Değerleri……..89

Şekil 5.4 500 kV' luk İletim Hattı Çevresinde Oluşan Magnetik Alan Değerleri……..90

Şekil 5.5 Çeşitli İletim Hattları Çevresinde Oluşan Elektrik Alan Değerleri ve Maruz Kalma Seviyeleri (NHMRC)……...90

Şekil 5.6 Çeşitli İletim Hattları Çevresinde Oluşan Elektrik Alan Değerleri ve Maruz Kalma Seviyeleri (NHMRC)……...91

Şekil 5.7 Elektrik Alan Sınır Değerlerinin Ülkelere Sayılarına Göre Tercih Edilen Referanslarla Dağılımı…….98

Şekil 5.8 ICNIRP Türetilmiş Limitleri…….101

Şekil 6.1 Çalışan Bir Kişinin Gün Boyu Maruz Kaldığı Yaklaşık Magnetik Alan Seviyeleri……...105

Şekil 6.2 İletim Hatlarına Farklı Uzaklıkta Bulunan A ve B Evinin Yatak Odalarında Oluşan Magnetik Alan Değerleri……105

Şekil 6.3 Güç Yoğunluğu, İndüklenen Akım ve Eliptiklik Arasındaki İlişki.....106

Şekil 6.4 Farklı Mevsimler ve Günün Farklı Saatleri ile Eliptiklik Arasındaki İlişki……...106

Şekil 6.5 Alçak Frekanslar İçin Kullanılan Alan Ölçer Cihazı……111

Şekil B.1 Yük Benzetim Yöntemi ile alan ve potansiyel hesabı için akış diyagramı……...131

Şekil D.1 Standart Ölçümlerin Gerçekleştirildiği Ev Krokisi……...137

Şekil D.2 Oyak –Renault Fabrikasında Gerçekleştirilen Saha Ölçümlerine Ait Kroki (180 kVA' lık Askılı Punta Kaynak makinesi)……...…138

Şekil D.3 Oyak –Renault Fabrikasında Gerçekleştirilen Saha Ölçümlerine Ait Kroki (210 kVA' lık Askılı Punta Kaynak makinesi)……...…139

Şekil D.4 Oyak –Renault Fabrikasında Gerçekleştirilen Saha Ölçümlerine Ait Kroki (İndüksiyon makinesi)……..……..140

Şekil D.5 Oyak –Renault Fabrikasında Gerçekleştirilen Saha Ölçümlerine Ait Kroki (Elektron Kaynak makinesi)……...……141

SEMBOL LİSTESİ

E	: Elektrik alan şiddeti
H	: Magnetik alan şiddeti
B	: Magnetik akı yoğunluğu
μ_0	: Boşluğun magnetik geçirgenliği
f	: Frekans
μ_r	: Bağıl magnetik sabiti
ε_r	: Bağıl dielektrik sabiti
ε_r'	: Enerji depolama özelliği
ε_r''	: Enerji soğurma özelliği
ε_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
σ	: Etkin iletkenlik
ω	: Açısal frekans
E_i	: İç alan şiddeti
ρ	: Kütlesel yoğunluk
q	: Yük değeri
p	: Potansiyel katsayısı
V	: Potansiyel
U	: Gerilim
I	: Akım
ℓ	: Uzunluk
SA	: Özgül Soğurma
SAR	: Özgül Soğurma Oranı

ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

ÖZET

Teknolojinin gelişimi ve nüfusun hızla artması ile birlikte, yaşamın her alanında kullanımı artan elektrik enerjisinin zararlı etkileri olup olmadığı bir merak konusudur. Elektrik enerjisinin iletilmesi ve kullanımı sırasında çevreyi ve insanları etkileyebilecek elektromagnetik alanlar oluşmaktadır.

Yerleşim merkezlerine enerji iletiminde yaygın olarak kullanılan yüksek gerilimli enerji iletim hatlarının, yaşanan alanların uzağından geçecek şekilde tasarlanmasına rağmen, yapılaşmanın şehir dışına kaydığı günümüzde insanlar enerji iletim hatlarıyla yakın mesafeli konutlarda ikamet etmektedirler.

İletim hatlarının yanısıra günlük yaşamımızda kullandığımız her türlü elektrikli cihaz bir elektrik ve magnetik alan kaynağı olarak hayatımıza girmiş durumdadır. Bu tip cihazların çevrelerinde oluşturdukları elektromagnetik alanlar da insanları etkileyebilmektedir.

Bu tezde, enerji iletim hatlarının ve günlük yaşantımızda kullandığımız pek çok elektrikli aletin çevrelerinde oluşan elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

İkinci bölümde, tezde geçen ve anlaşılmayı kolaylaştıracak bazı temel kavramlara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, yüksek gerilim hatlarının elektrik alan ve magnetik alan değerlerine yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkilerine, dikkat edilmesi gereken hususlara yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, elektromagnetik alanlar için belirlenmiş uluslararası standartlara ve ülkemizde geçerli olan değerlere yer verilmiştir.

Altıncı bölümde, elektrikli cihazlara ve iletim hatlarına ait elektromagnetik alan değerlerinden ve yapılan ölçümlerden bahsedilmiştir.

Yedinci bölümde, elektromagnetik alanlardan korunma yöntemlerine ve yapılması gerekenlere yer verilmiştir.

Sekizinci bölümde, tez çalışması sırasında elde edilen bulguların değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlara ve tavsiyelere yer verilmiştir.

EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON HEALTH

SUMMARY

Nowadays, the usage of electricity increases together with the improving technology and increasing population. It becomes a questionmark whether the electric energy has dangerous impacts on people health or not. During the usage and transmission of the electricity, electromagnetic fields are formed which will effect the environment and humanbeings.

Although, the high voltage energy transmission lines which transmit energy to the buildings are designed to be away from the living areas, people are still in danger of the electromagnetic fields because of the growth of cities to these areas.

Not only the transmission lines but also all of the electrical devices which we use in our daily lives are sources of electric and magnetic fields-impacting us.

In this thesis, the impacts of electronmagnetic fields which are formed by transmission lines and daily used devices on human's health.

In the second chapter, the basic concept used in the thesis and will make understanding simple will be mentioned.

In the third chapter, the electrical fields and magnetic field values of high voltage transmission lines are mentioned.

In the fourth chapter, the impacts of electromagnetic fields on human's health and the important cases which should be considered are mentioned.

In the fifth chapter, the internationally accepted standards and the values in our country are mentioned.

In the sixth chapter, electromagnetic field values of electrical machines, devices and transmission lines and the measurements are mentioned.

In the seventh chapter, the ways of protection from electromagnetic fields are mentioned.

In the eighth chapter, the evaluation of results obtained during the thesis study. At the end, the outcomes and recommendations are discussed.

1. GİRİŞ

Günümüzün en önemli enerji kaynağı elektrik enerjisidir. Nüfusun hızlı artışı ve teknolojinin son derece hızlı gelişimiyle birlikte elektrik enerjisine olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bu talebin karşılanması için, yerleşim merkezlerine ekonomik ve güvenilir yoldan enerjinin taşınması, yüksek gerilim hatlarıyla mümkün olabilmektedir.

Yüksek gerilim hatları ve çevremizde aklımıza gelebilecek her türlü elektrikli cihaz, çevrelerinde elektromagnetik alanlar oluşturmaktadırlar. Bu alanların, insan sağlığı üzerinde frekanslarına ve büyüklüklerine bağlı olarak bir takım olumsuz etkileri mevcuttur.

Elektromagnetik alanların etkisinde kalan kişilere elektromagnetik dalgalar temas etmektedir ve bu dalgalar; kişinin vücut ölçülerine, dokuların elektromagnetik özelliklerine göre, yansıma ve yutulmalara maruz kalmaktadırlar. İnsan vücudunun elektromagnetik özellikleri ikinci bölümde detaylı olarak açıklanacaktır.

Elektrik enerjisine olan talebin karşılanabilmesi amacıyla kurulacak olan yeni yüksek gerilim hatlarının oluşturabilecekleri elektrik alan seviyelerinin etüd edilerek, hatların en uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Söz konusu hatların elektrik alan seviyelerinin hesaplanmasında kullanılan sayısal yöntemlerden biri olan Yük Benzetim Yöntemi, Ek-A ve Ek-B'de detaylı olarak verilecektir.

Yüksek gerilim hatlarının oluşturdukları elektromagnetik alanların, insan sağlığı üzerinde olabilecek etkilerinin bilinmesi için öncelikle alan seviyelerinin bilinmesi gerekmektedir. Elektrik ve magnetik alan seviyelerinin belirlenebilmesi için yapılan hesaplamalar ve Gausmetre'lere ait özelliklerden üçüncü bölümde söz edilecektir.

Yüksek gerilim hatlarının ve günlük yaşantımızda kullandığımız elektrikli cihazların insan sağlığı üzerinde yapabilecekleri etkilerden dördüncü bölümde bahsedilecektir. Bu bölümde ayrıca 50 – 60 Hz frekanslı elektromagnetik alanların etkileri için yapılan çalışmalardan ve sonuçlarından da bahsedilecektir.

İnsan sağlığına olumsuz etkilerinden söz edilen elektromagnetik alanlar için uluslararası arenada ve ülkemizde uygulanan standartlara ve bu standartların karşılaştırılmalarına beşinci bölümde yer verilecektir. Bu bölümde ayrıca korunma yöntemlerine değinilecektir.

Elektrikli cihazların elektromagnetik alan değerlerine ve yapılan ölçümlere altıncı bölümde yer verilecektir. Oyak-Renault Oto. Fab. A.Ş.'nde ve 154 kV'luk Boğaz Atlaması Bebek mevkiinde yapılan ölçümlere de bu bölümde yer verilecektir.

Son bölümde ise, elektromagnetik alanların sağlığımız üzerinde meydana getirebileceği olumsuz etkilerin önlenmesi için yapılması gerekenlerden bahsedilecektir.

Elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerine etkilerinin incelenmesine günümüzde halen devam edilmektedir. Bu konudaki çalışmaların kesin kararlar ve zorunluluklar çıkarabilmesi için uzun süreli çalışmaların yapılması gerekliliği vardır. Epidemiyolojik çalışmalara hız verilecek ve elde edilen sonuçlarla birlikte global çözümlere doğru hareket edilecektir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Giriş

Fiziksel olayların anlatımında kolaylık sağlanması amacıyla alan kavramı geliştirilmiştir. İlgilendiğimiz fiziksel olay için seçilen koordinat sisteminin belirli bir noktasına, aynı anda karşılık gelen fiziksel büyüklükler bir alan oluştururlar. Alan değişkeni, vektörel veya skaler bir büyüklük olabilir. Vektörel alana yerküreye ait g (yer çekimi) vektörü ile tanımlanan kütle çekim alanını veya uzayın bir noktasında bulunan deneme yüküne etkiyen bir kuvvetin etkisi ile ortaya çıkan elektrik alanını verebiliriz. Televizyondaki hava raporlarında izlediğimiz, bir bölgedeki sıcaklık dağılımı da alanın skaler bir örneğidir. Alanı tanımlayan fiziksel büyüklükler zamanla değişebileceği gibi sabit değerli de olabilirler. Bir mıknatıs çubuğu saran, uzay bölgesinde bir magnetik alanın var olduğu söylenir. Elektrikle yüklü bir çubuğun çevresinde de bir deneme yüküne bir kuvvet etkiyorsa, o noktada bir elektrik alan vardır denilmektedir. Bu kuvvet, bu bölgede var olan yükler tarafından oluşturulmuştur.

2.2 Elektrik Alan

Elektrikli bir cismin etrafındaki bölgeye elektrik alanı adı verilir. Alanın varlığı, herhangi bir noktaya getirilen elektrikli bir cisme tesir eden kuvvet yardımıyla anlaşılabilir. Şayet alanı meydana getiren yükler hareket etmiyorsa alana statik elektrik alanı denir [1].

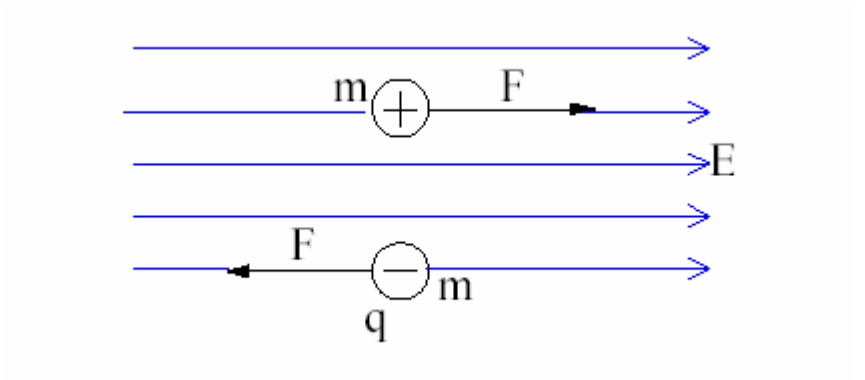
Alan içine sokulan, boyut ve değerce alanı bozmayacak kadar küçük olduğu varsayılan noktasal q yüküne tesir eden kuvvet, hem bu yükle orantılıdır hem de yükün bulunduğu noktaya bağlıdır. Böylece kuvvet için;

$$F = q \cdot E \qquad (2.1)$$

yazılabilir. Bu denklemde E ile gösterilen büyüklük, yükün yerine göre değişir. Elektrik alanını belirten bu büyüklüğe, alan şiddeti adı verilir. q = +1 C için alan şiddeti sayıca kuvvete eşit olacağından alan şiddeti herhangi bir noktada pozitif birim yüke tesir eden kuvvete özdeştir. Alan şiddetinin MKSA birimi N/C dur. 1 N = 1 J/m ve 1 J = 1 CV (V, gerilim birimidir) olduğunu göz önüne alarak bu birim için V/m yazılabilir.

(2.1) denklemi vektörel olarak;

$F = q \cdot E$ şeklinde yazılabilir. Herhangi bir noktadaki alan şiddeti vektörü yön ve değerce pozitif birim yüke etki eden kuvvete özdeştir. Şayet q yükü pozitif ise kuvvetle alan aynı yönde ve negatifse zıt yönde olurlar. Alanın yönü pozitif yüke tesir eden kuvvetin yönü gibidir.



Şekil 2.1 Elektrik alanda artı ve eksi yüklere etkiyen kuvvetlerin yön ve doğrultuları [2]

Düzgün elektrik alan elektrik alan vektörünün her yerde birbirine paralel olduğu ve her noktadaki E alanın büyüklüğünün aynı olduğu alandır. Böyle bir alanı birbirine paralel ve aralarında d mesafesi bulunan eşit ve farklı yüklerle yüklenmiş sonsuz uzunluktaki iki metal plaka arasında oluşturabiliriz.

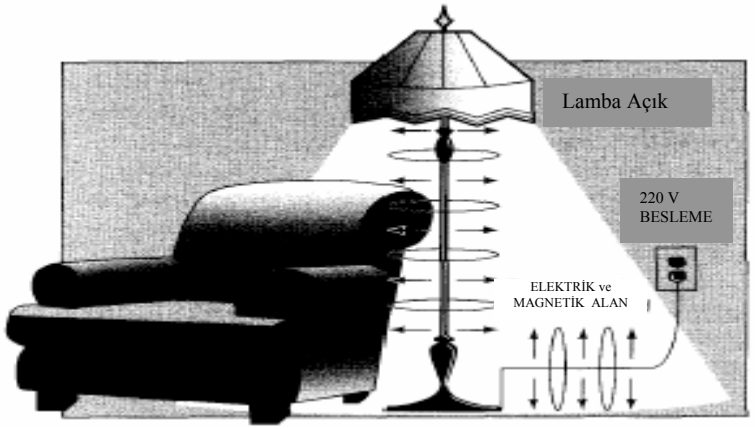
Elektrik alanı (+) yükten çıkar ve (-) yükte sonlanırlar. Elektrik alanı gözümüzde canlandırmak için alanı elektrik alan çizgileri ile temsil ederiz. Alan çizgilerinin sıklığı o noktadaki elektrik alanın büyüklüğünü, çizgilere teğet olan vektör ise alanın yönünü gösterir.

2.3 Magnetik Alan

Hareket halindeki bir elektrik yükü, etrafındaki uzayda bir magnetik alan oluşturur. Bir magnetik alan içinde hareket eden yüklere de magnetik kuvvet etkir.

Akımlar tarafından oluşturulan magnetik alanlara ait ilk deneysel gözlemler Oersted tarafından 1820 yılında yapılmıştır. Oersted, içinden akım geçen bir telin altında bulunan bir pusulanın, uzun ekseni tele dik olacak şekilde bir duruma geldiğini gözlemiştir. Daha sonra Biot-Savart ve Ampere tarafından yapılan deneyler sonunda, içinden akım geçen bir iletkenin, etrafındaki uzayın bir noktasındaki magnetik alan değerini veren bağıntılar elde edilmiştir. Genel olarak bir akımın, etrafındaki uzayın herhangi bir noktasında oluşturduğu magnetik alan şiddeti, akımın yönüne ve doğrultusuna, şiddetine, akımın geometrik şekline (akımın geçtiği iletkenin şekli; dairesel, selonoid, doğru biçiminde, vb olması) ve akımı çeviren ortamın cinsine bağlıdır [2].

Bilindiği gibi elektrik akımı yüklü parçacıkların hareketlerinden meydana gelir. Örneğin madenler içinde bu parçacıklar serbest elektronlardır. Buna dayanarak yüklü parçacıklar hareket ettiği zaman bir magnetik alanın meydana geleceğini söyleyebiliriz [3]. Şekil 2.2'de akkor flamanlı bir armatürün açıkken besleme kablosu ve çevresinde yarattığı elektrik ve magnetik alanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Akkor Flamanlı Bir Aydınlatma Armatürünün Açık Konumdayken Yarattığı Elektrik Alan, Magnetik Alan ve Çevreye Etkileri [38]

Elektrik alanı hem duran hem de hareket eden yükler tarafından meydana getirildiği halde magnetik alan yalnız hareket halindeki parçacıklar tarafından meydana getirilebilir. Elektrik alanı içerisinde bulunan, duran veya hareket eden bir elektrik yüküne bir elektriksel kuvvet etkir. Buna karşılık magnetik alan içerisinde bulunan bir yük ancak hareket ettiği zaman bir magnetik kuvvetin etkisi altında kalır.

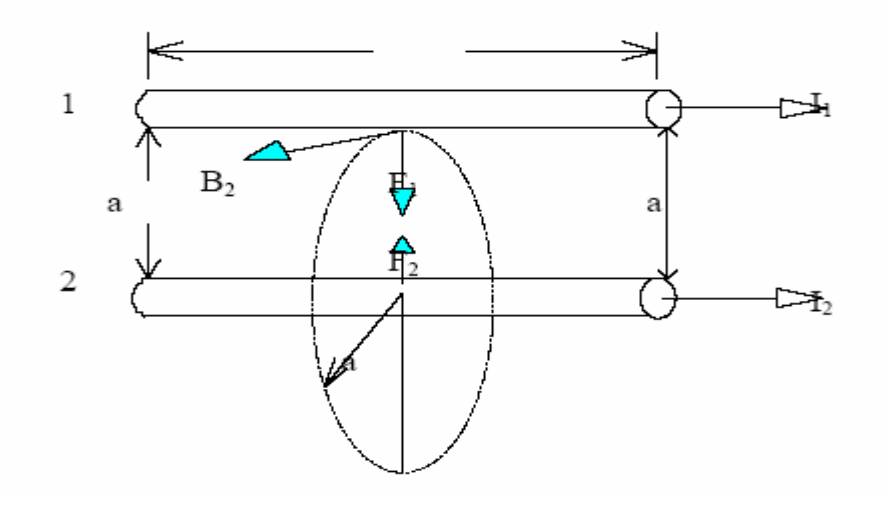
Magnetik alan şiddeti H ile verilir ve birimi A/m'dir. Magnetik akı yoğunluğu (magnetik indüksiyon) B ile gösterilir ve birimi Tesla'dır (1 T = 1 Wb/m^2). Pratikte 1 mT = 10^{-3} T ve 1 μT = 10^{-6} T alt birimlerde kullanılır.

Magnetik akı yoğunluğu, alan içinde hareket eden yüke etkiyen kuvvet olarak tanımlanır. Magnetik akı yoğunluğu ile H arasındaki orana magnetik geçirgenlik (μ) denir.

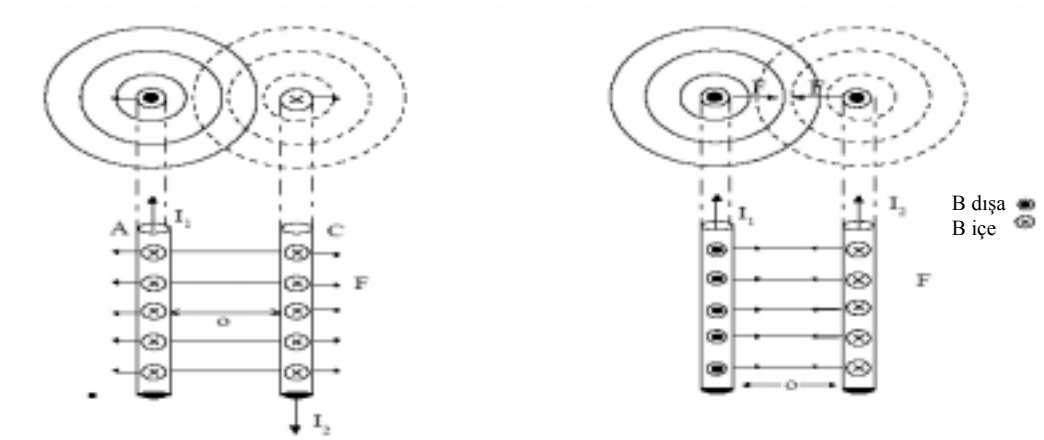
$$\frac{B}{H} = \mu \tag{2.2}$$

Magnetik malzemelerde μ farklılıklar gösterir. Bazen tansör büyüklüğündedir. Biyolojik dokularda μ sabit kabul edilebilir. Boşluğun magnetik geçirgenliği $\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}\left[H/m\right]$'dir.

Üzerinden akım geçen bir "1" iletkeninin çevresinde bir magnetik alan oluşacağı, eğer buna yakın bir yerde diğer bir paralel "2" iletkeni varsa 1'den oluşan magnetik alanın 2'de bir etki oluşturacağı açıktır. Ayrıca 2'nin de 1'de benzer etkiyi yaratacağı açıktır. Bu karşılıklı etkileşim sonunda bir elektromagnetik kuvvet ortaya çıkacaktır. Bu kuvvetin nedeni ise iletkenlerden birinin diğerinin etki alanının içinde bulunmasıdır. Şekil 2.3'de birbirine paralel içinden akım geçen iki iletkenin arasındaki kuvvet ve birbirleri üzerinde oluşturdukları magnetik alanlar gösterilmiştir. Şekil 2.4'de ise içlerinden aynı ve zıt yönlü akımlar geçen iki iletkene etkiyen kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 2.3 İçinden Akım Geçen İki İletken Arasındaki Kuvvet [38]



Şekil 2.4 İçinden, Aynı Ve Zıt Yönlü Akım Geçen İki İletkene Etkiyen Kuvvet [38]

İçinden I_2 akımı geçen "2" iletkeninin kendinden a uzaklıkta içinden I_2 ile aynı yönlü akım geçen iletkende oluşturduğu magnetik alan;

$$B_2 = \frac{\mu_o . I_2}{2 . \pi . a} \tag{2.3}$$

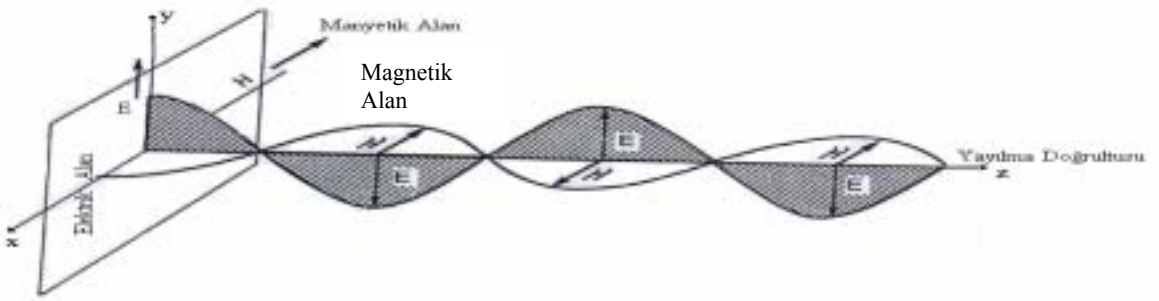
"1" telinin *l* uzunluğuna etkiyen F_1 kuvveti;

$$F_1 = I_1 . \ell . B_2 = I_1 . \ell . \left(\frac{\mu_o . I_2}{2 . \pi . a} \right) = \frac{\ell . \mu_o . I_1 . I_2}{2 . \pi . a} \tag{2.4}$$

olarak karşımıza çıkar.

2.4 Elektromagnetik Alan

İnsanlar çevrelerinde oluşan doğal ve yapay kaynaklı elektrik ve magnetik alanların etkisinde kalırlar. Elektromagnetik alan; elektrik ve magnetik alanın bir arada olduğu durumdur [4].



Şekil 2.5 Elektrik ve Magnetik Alanın Birlikte Bulunduğu Elektromagnetik Ortam [2]

2.5 Elektromagnetik Radyasyon

Bir elementin özelliklerini taşıyan en küçük öğesi atomdur. Atomların özelliklerini, çekirdeklerinin yapısı ve yörünge elektronlarının sayısı ve dizilişleri belirler. Bir atom çekirdeğinin kararsız durumdan daha kararlı bir duruma geçerken elektromagnetik dalga veya parçacık şeklinde enerji yaymasına radyasyon (ışıma) denir. Bu fiziksel olaya radyoaktiflik ve bu özellikteki elementlere de radyo element denir. Elektromagnetik radyasyonlar; dalga boylarına, frekanslarına ve enerjilerine bağlı olarak: radyo dalgaları, mikrodalgalar, infrared ışınları, görünür ışık, ultraviyole ışınları, X-ışınları, gama-ışınları ve kozmik ışınlar olarak adlandırılırlar.

2.5.1 İyonlaştırıcı Radyasyon

Madde içerisinden geçerken enerjisini ortama aktarmak suretiyle, ortamdaki atomları doğrudan veya dolaylı yollarla iyonlaştıran radyasyon türüdür. Örneğin; x ve gama-ışınları ile α, β ve nötron parçacıklarının yayılması gibi. Yeteri kadar enerjiye sahip olamadıkları için radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi ışık, mor ötesi ışık (ultraviyole) ve görünür ışık iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak isimlendirilirler. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon nükleer radyasyon değildir. Elektromagnetik radyasyonlardan, iyonlaştırıcı özelliğe sahip olanları (örneğin Çernobil faciası sonrasında çevreye yayılan radyasyon) ve bunların zararlı etkilerinden korunma yollarının ve sistemlerinin belirlenmesi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) çalışma alanına girmektedir.

2.5.2 İyonlaştırmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı özelliğe sahip olmayan; sabit telekomünikasyon cihazları olan baz istasyonları, radyo ve televizyon vericileri ile elektrik iletim hatları, trafo merkezleri ve elektrikli ev aletlerinden (mikrodalga fırınlar, traş makinesi, saç kurutma makinesi vb.) kaynaklanan radyasyon ise, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ifade edilen elektromagnetik radyasyon grubunda yer alır. Elektrik enerjisi ileten ya da enerjiyle çalışan her türlü araç ve gereç, çalışma durumunda çevresinde bir elektromagnetik alan oluşturmaktadır. Elektromagnetik ışınım yayan sistem ve aletlerin bir kısmı aşağıda sıralanmaktadır:

Çeşitli elektrikli ev aletleri

Enerji nakil hatları ve trafo istasyonları

Elektrikli trenler

TV, bilgisayar ekranları

İndüksiyon fırınları ve indüksiyon kaynak makineleri

Radyo, TV ve telsiz verici istasyonlarının antenleri

Radar sistemleri (Sürekli ve darbeli)

Uydu iletişim sistemleri

Tedavide kullanılan tıbbi elektriksel cihazlar

Mikrodalga fırınları

Sanayide büyük RF frekansında çalışan çeşitli sistemler

GSM haberleşme sistemi (Temel baz istasyonu anteni ve cep telefonu anteni)

2.6 Özgül Soğurma (SA) ve Özgül Soğurma Oranı (SAR)

Özgül Soğurma, SA (Specific Absorption)

Biyolojik dokunun birim kütlesi tarafından soğurulan enerji miktarıdır. Ağırlığı *dm* olan bir kütle tarafından soğurulan enerji *dW* ise özgül soğurma

$$SA = \frac{dW}{dm} \tag{2.5}$$

dir. Kütlenin $dm = \rho\, dV$ olduğu göz önüne alınırsa, özgül soğurma

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{dW}{\rho dV} \tag{2.6}$$

şeklinde verilebilir.

SA'nın birimi J/kg'dır. ρ ise [kg/m^3] cinsinden vücut yoğunluğunu göstermektedir.

Özgül Soğurma Oranı, SAR (Specific Absorption Rate)

Özgül soğurma oranı SAR (Specific Absorption Rate: SAR), elektromagnetik enerjinin vücut dokuları tarafından soğurulma hızıdır [22].

$$SAR = \frac{d(SA)}{dt} = \frac{d(\frac{dw}{dm})}{dt} = \frac{d(\frac{dw}{\rho dV})}{dt} \tag{2.7}$$

Özgül soğurma oranının birimi [W/kg]'dır.

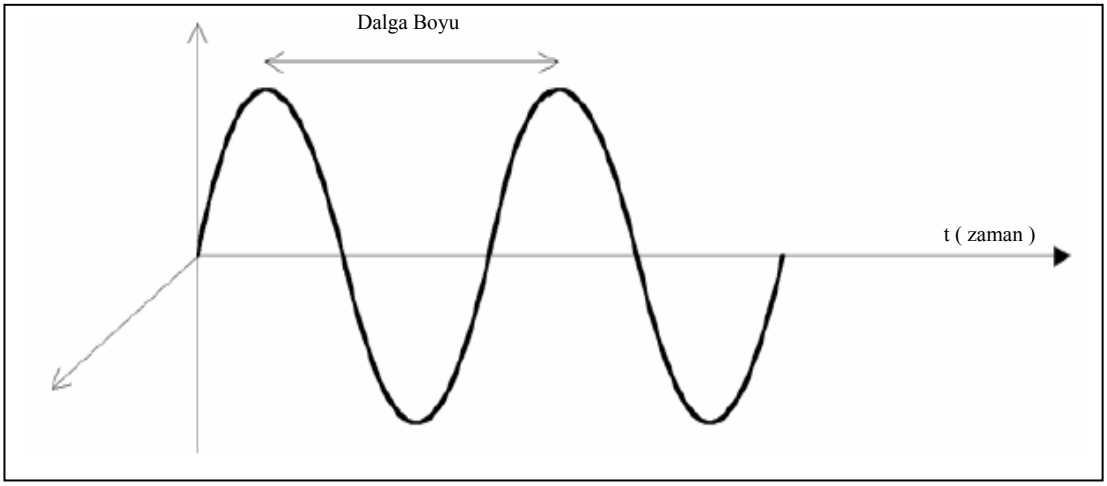
Ayrıca özgül soğurma, SAR'ın zamana göre integraline eşittir.

$$SA=\int_{0}^{t}(SAR)\,dt \tag{2.8}$$

Bugüne dek yapılan araştırmalar insan vücudunun bir derecelik sıcaklık artışını düzenleyemediğini ve sorunlar yarattığını göstermektedir. İnsan vücudunda bir derece sıcaklık artışı için bir kilogram doku başına 4 W güç soğurulması gerekmektedir. İnsanların genel yaşam alanlarında bu değerin 50'de biri olan 0,08 W/kg SAR sınır değeri olarak kabul edilmiştir. Özgül soğurma oranının doğrudan ölçülmesi hemen hemen olanaksızdır. Bundan dolayı, sınır değerlerin belirlenmesinde kolay ölçülebilen ve/veya gözlemlenebilen parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler, elektrik alan şiddeti, magnetik alan şiddeti ve güç yoğunluğudur.

2.7 Frekans ve Dalga Boyu

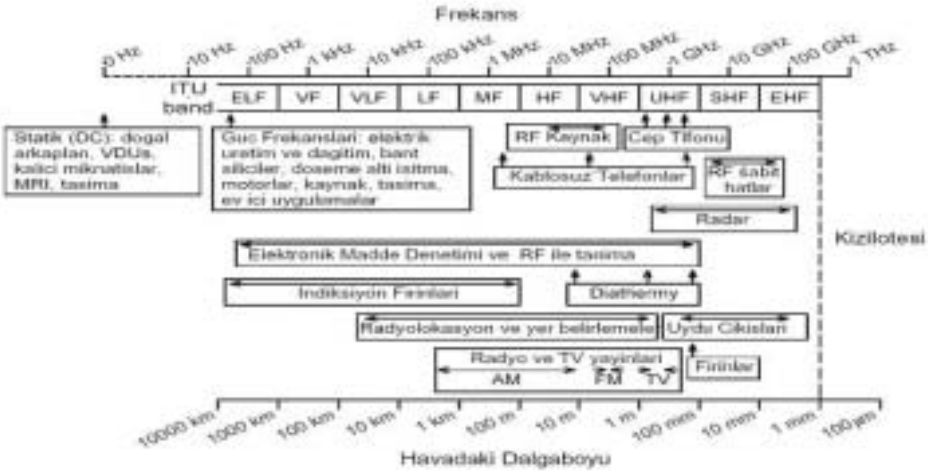
Elektromagnetik dalgaların saniyede yaptığı salınım sayısına yani kendilerini tekrarlama sıklığına frekans denir. Frekansın birimi Hertz (Hz)'dir. 1 Hz saniyede bir salınım; 1 kHz ya da kilohertz saniyede 1000 Hz; 1 MHz ya da megahertz saniyede bir milyon Hz; 1 GHz ya da gigahertz saniyede bir milyar Hz ya da 10^9 Hz'dir. Elektromagnetik dalgaların bir salınımda aldıkları yola dalga boyu denir. Dalga boyunun birimi mesafe birimleridir. Şekil 2.6' da Dalga için zaman domeninde dalga boyu gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Dalga [32]

2.8 Elektromagnetik Spektrum

Elektromagnetik spektrum, insan sağlığı söz konusu olduğunda farklı frekanslarda farklı olarak ele alınır. En önemlileri (i) alçak frekanslar ve yüksek gerilim hatları, (ii) gezgin iletişim ve GSM şebekeleri, ve (iii) mikrodalga ısıtmadır. Şekil 2.7'de elektromagnetik spektrum ve ilgili kullanım alanları gösterilmiştir. DC'den 10^{22} Hz'lere dek uzanan spektrumda 0 Hz – 300 GHz arası iyonlaştırmayan ışınım bölgesi olarak anılmakta.



Şekil 2.7 Elektromagnetik Alan ve Radyasyon Kaynakları [32]

Elektromagnetik spektrumda;

3 Hz – 3 kHz arası çok çok düşük frekans bölgesi

3 kHz – 30 kHz arası çok düşük frekans bölgesi

10^{12} Hz'lere kadar olan bölge radyo dalgaları diye anılır.

10^{12} Hz'ler kızıl ötesi ışıma bölgesidir. Bütün nesneler bu frekanslarda ışınım yaparlar. Örneğin vücudumuzdaki ısının yaklaşık %60'ı kızıl ötesi ışınım ile dışarı atılır. Isıl kamera denen cihaz kızıl ötesi frekanslara duyarlı bir alıcıdan başka bir şey değildir.

Görünür ışık frekansları 10^{14} Hz'lerdir. Bu frekansların üstü iyonlaştırıcı radyasyon bölgesi olup mor ötesi, x ve gama ışınları bu bölgededir.

Çok düşük frekanslar bölgesinde en önemli konu 50 Hz'deki yüksek gerilim hatlarıdır. Yüksek gerilim hatları uzun süredir (on yıllardır) inceleme ve araştırma konusudur. Bilimsel deneyler ve bulgular yanında sağlıklı istatistiksel veri toplanabilecek kadar uzun süreli ve geniş katılımlı çalışmalar gerçeklenebildiğinden artık güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir. Oysa cep telefonlarında durum farklı; bunların yaşantımıza girmesi henüz yeni ve toplum sağlığı üzerindeki etkileri konusunda sağlıklı ve bilimsel temellerde tartışacak ve hüküm verecek ne süre ne de istatistiksel veri söz konusudur.

Gezgin iletişim dediğimiz bu haberleşme sistemlerinde 900 MHz ve 1,8 GHz frekans bölgesinde sınırlı bandlar kullanılabildiğinden sistem küçük hücrelerin yan yana gelmesi ve dolayısıyla aynı frekans bandının farklı hücrelerde tekrar kullanılması prensibine dayanır.

Yine, evlerde kullanılan mikrodalga fırınları da sağlık açısından önemli bir alt başlık olarak görülmektedir.

2.9 Epidemiyoloji

Epidemiyoloji; sağlığı ilgilendiren tüm olayların sıklığını, dağılımını, nedenlerini ve çözüm yollarını inceleyen bilim dalıdır. Bu araştırmalarda iki grup kullanılmaktadır. Birinci grup birtakım hastalıklar olan insanlardan, ikinci grup ise hastalığı olmayan (kontrol grubu) insanlardan oluşturulmaktadır. Yapılan çalışmalarda, iki grup üzerinde bir X faktörünün uygulanması sonucu görülen etkilenme oranları karşılaştırılmaktadır. Eğer oranlar aynı ise, hastalık ile X faktörü arasında bir ilişki olmadığı düşünülmektedir. Bir toplumun sağlık sorunlarının tanımlanması, zaman içinde değişimlerin incelenmesi, kişilerin belirli sağlık sorunları ile karşılaşma olasılık ve risklerinin saptanması; kişisel alışkanlıklar, çevre, sosyal ve ekonomik etkenlerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin araştırılması, sağlık sorunlarının çözümü için gerekli önlemlerin belirlenmesi, sağlık ile ilgili kurum ve kuralların belirlenmesi epidemiyolojinin çalışma alanı içine girer [16].

2.10 Elektromagnetik Duyarlılık

Elektromagnetik duyarlılık; elektromagnetik dalgalara doğrudan maruz kalınması durumunda ortaya çıkan fizyolojik bir rahatsızlıktır. Elektromagnetik

duyarlılık (ES: Electromagnetic Sensitivity) insan sağlığı için ciddi bir problemdir ve gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır [6].

Yapılan araştırmalardan da anlaşılacağı gibi, elektromagnetik duyarlılık ve pek çok sağlık probleminin, elektromagnetik alan etkisi altında kalınmasıyla doğrudan ilişkisi vardır.

Elektromagnetik duyarlılık başlangıçta alerjik ve nörolojik semptomlarla kendini gösterir. ES etkisinde olan pek çok kişi elektromagnetik alanların belirli frekanslarına karşı duyarlılık gösterir. Ancak hassasiyetin hakim olduğu bu band genişliği oldukça fazladır.

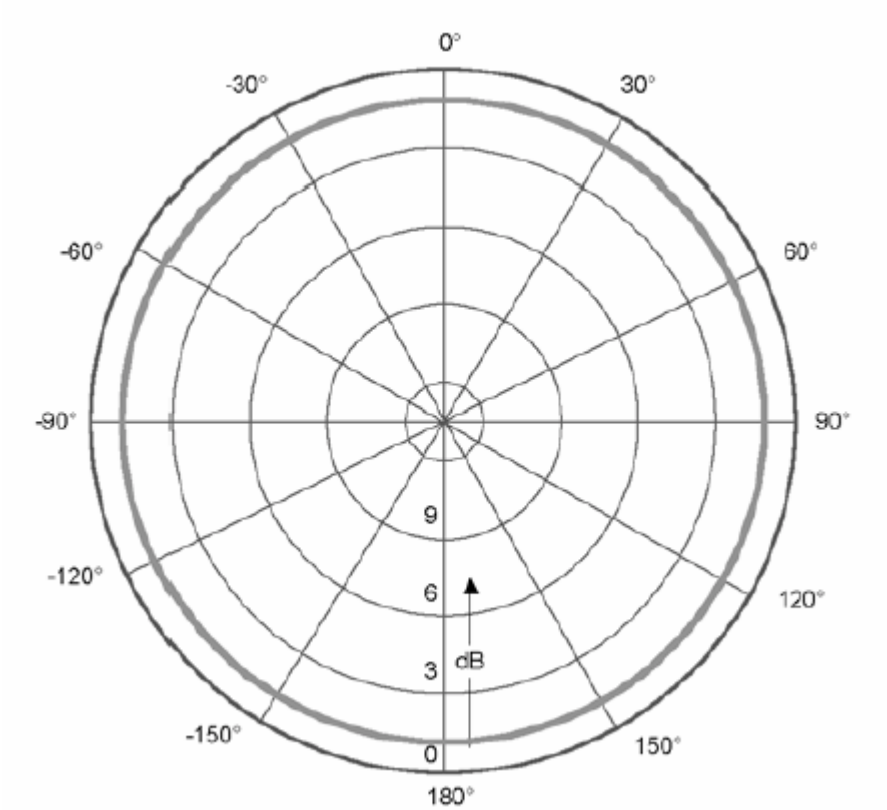
Yapılan araştırmalar esnasında pek çok denek üzerinde flüoresan lamba, televizyon ve bilgisayar ekranları çevresinde oluşan elektromagnetik alanların olumsuz etkileri görülmüştür.

Yine yapılan çalışmalar ve sonuçları, sinir sisteminin bu rahatsızlıktan direkt olarak etkilendiğini göstermiştir.

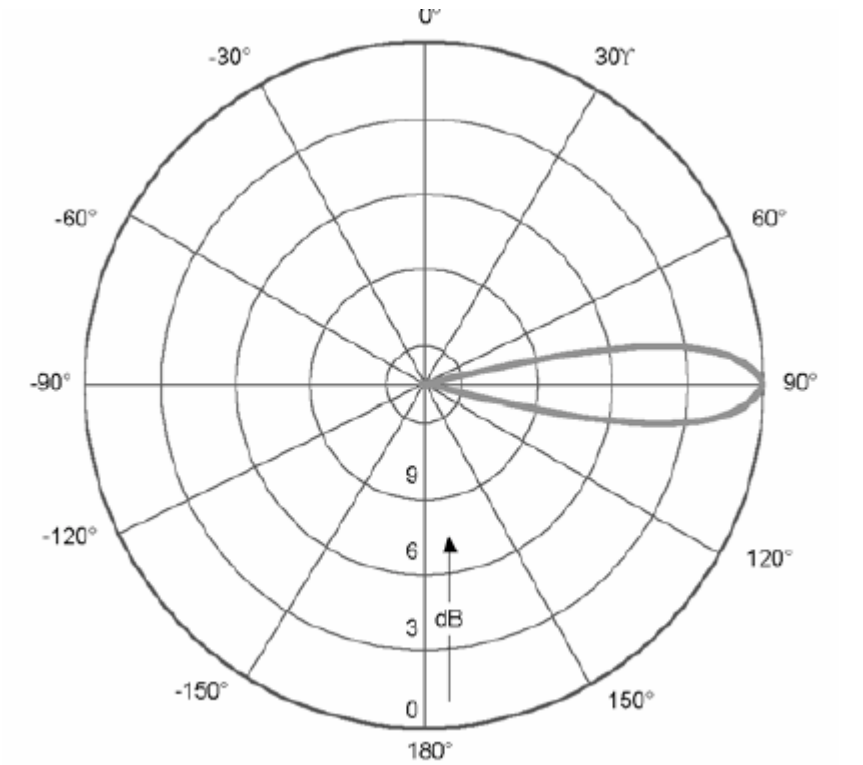
2.11 Anten ve Anten Çeşitleri

Anten, elektrik sinyallerini (gerilim ve akım) elektromagnetik dalgalara ya da elektromagnetik dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürmek için kullanılan araçtır [7].

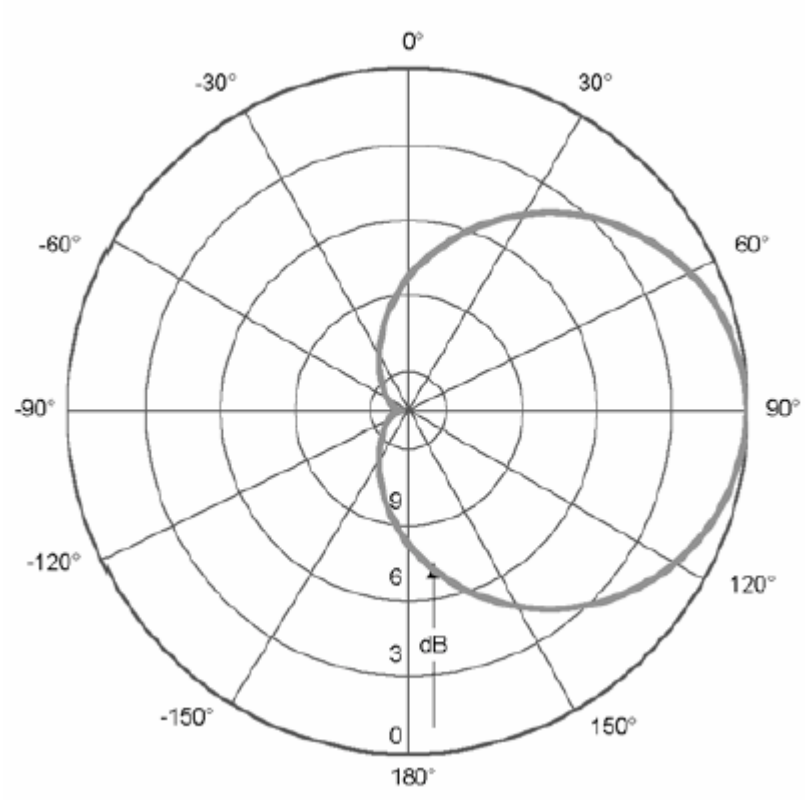
Elektromagnetik enerjiyi uzayda kendinden eşit uzaklıktaki noktalara eşit olarak yayan ya da noktalardan eşit olarak alan antenlere yönsüz anten denir. Şekil 2.8'de yönsüz bir anten için bir düzlemdeki örnek bir ışıma örüntüsü verilmiştir. Genelde kullanılan antenler yönlüdür ve elektromagnetik enerjiyi belirli bir yönde diğer yönlere göre daha etkin olarak yayar ya da alırlar. Şekil 2.9 ve 2.10'de yönlü antenlerin ışıma örüntülerine örnek gösterilmiştir. Aşağıdaki şekillerde dairenin merkezindeki nokta anteni temsil etmektedir.



Şekil 2.8 Yönsüz Anten [7]



Şekil 2.9 Dar Açılı Işıma Örüntüsü [7]



Şekil 2.10 Geniş Açılı Işıma Örüntüsü [7]

2.12 Düşük Frekanslı Elektrik Alan Kuplajı

Zamanla değişen elektrik alanlar canlı dokularda elektrik yüklerinin hareketine (akım akmasına), bağlı yüklerin polarizasyonuna (elektriksel dipol oluşmasına) ve var olan dipollerin yön değiştirmesine neden olur. Bunların şiddetleri dokuların elektriksel parametrelerine bağlıdır. İletkenlik σ, elektrik akımını ve dielektrik sabiti ε ise polarizasyon şiddetini belirler. İletkenlik ve dielektrik sabitleri dokudan dokuya değiştiği gibi, frekansla da değişir. Vücudun dışındaki elektrik alanlar vücudun yüzeyinde yüzey yükleri birikmesine neden olur. Bu yüzey yük farklılıkları da vücut içinde akım akmasına yol açar. Bu akım ise vücudun konumuna, şekline ve büyüklüğüne bağlıdır.

2.13 Düşük Frekanslı Magnetik Alan Kuplajı

Zamanla değişen magnetik alanlar vücutta elektrik alanları indüklenmesine ve elektrik akımı akmasına yol açmaktadır. İndüklenen elektrik alanın şiddeti magnetik alan kaynağı olan halkanın çapına, doku iletkenliğine ve zamanla değişim oranına bağlıdır. Magnetik alan kaynağı olan akım halkasının çapı ne kadar büyük ise

indüklenme, o denli şiddetli olur. Uluslararası uzman, bağımsız ve yetkili kuruluşlarca hazırlanan klavuzlarda frekansa ve dalga şekillerine göre temel büyüklükler şu şekilde alınmaktadır;

10 MHz frekansa kadar temel büyüklük J, akım yoğunluğu [A/m^2]

110 MHz frekansa kadar ise I, akım [A]

100 kHz ile 10 GHz arasında özgül soğurma oranı [W/kg]

300 MHz ile 10 GHz arasında darbesel işaretler için özgül soğurma [W]

10 GHz ile 300 GHz arasında ise güç yoğunluğu [W/m^2].

2.14 İnsan Vücudunun Elektromagnetik Özellikleri

Elektromagnetik alanların biyolojik sistemlerle etkileşmesini araştırmak için insan vücudunu temsil eden matematiksel modeller geliştirilmiştir [22]. Bu modelleme çalışmaları; ayrıca direkt insanlar üzerinde deneysel olarak yapılamayan durumlar için son derece yararlı ve dosimetri tayininde önemli bilgiler edinilmesini sağlamıştır.

İnsan vücudunun elektromagnetik alanlarla etkileşimini belirleyen faktör, vücuttaki dokuların elektromagnetik özellikleridir. Bu özellikler bağıl magnetik geçirgenliği μ_r olan ve bağıl dielektrik sabiti ε_r'dir. İnsan dokularında μ_r yaklaşık "1" kabul edilir. Kompleks dielektrik katsayısı ise;

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r' - j\,\varepsilon_r'' \qquad (2.9)$$

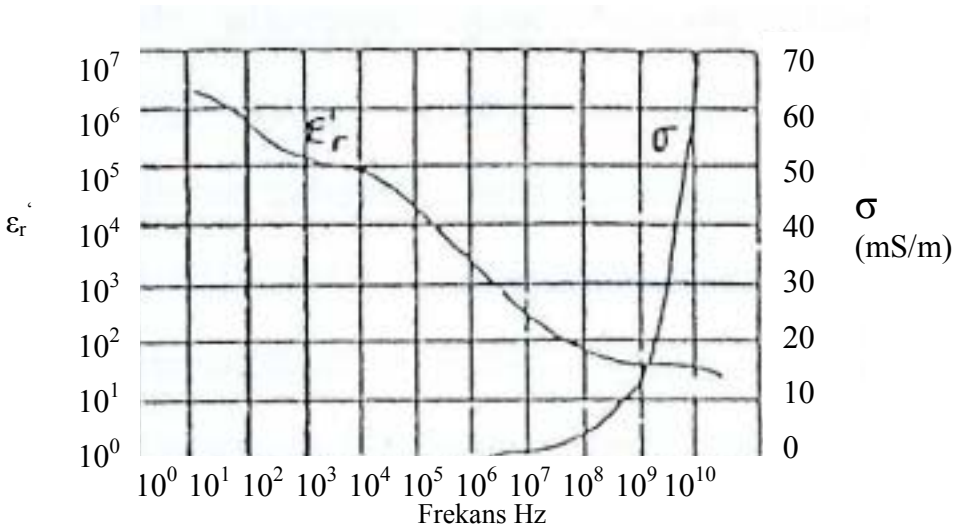
olarak verilmiş olup ε_r', enerji depolama ve ε_r'' enerji soğurma özelliklerini vermektedir. Dokunun, ortamın tüm kayıplarını içeren etkin iletkenliği;

$$\sigma = \omega \,.\, \varepsilon_r'' \,.\, \varepsilon_0 \qquad (2.10)$$

eşitliği ile verilmiştir. Burada ε_0 boşluğun dielektrik sabitidir.

İnsan dokuları su içeriği ve kimyasal yapılarına göre değişik ε_r' ve σ değerleri alır. Doku iletkenliği σ değeri ne kadar büyürse elektromagnetik dalgaların doku derinliğine girme özelliği azalmaktadır [8].

Kas tipi bir dokunun ε_r' ve σ değerlerinin frekansla değişimi Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Kas tipi bir dokunun ε_r' ve σ değerlerinin frekansla değişimi [8]

Enerji soğurma özelliği ε_r'' su oranı yüksek dokularda yüksek, su oranı düşük dokularda düşük değerler almaktadır. Kemik, yağ gibi su oranı düşük dokular, kan gibi su oranı yüksek dokulara göre daha az kayıplıdır [9].

Dokuların bu özelliklerinden yararlanılarak elektromagnetik alana maruz kalan bir vücudun birim kütle başına soğurduğu güç hesaplanabilir. Özgül Soğurma Oranı (S.A.R) aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$SAR = 1 / \rho \, (\omega \, . \, \varepsilon_r'' \, . \, E_i^2) \text{ Watt/kg} \qquad (2.11)$$

Burada,

ρ: Yoğunluk ($kg/m^{3)}$

ω: Açısal Frekans ($\omega = 2.\pi.f$)

ε_r'': Bağıl kompleks dielektrik katsayısının sanal kısmı

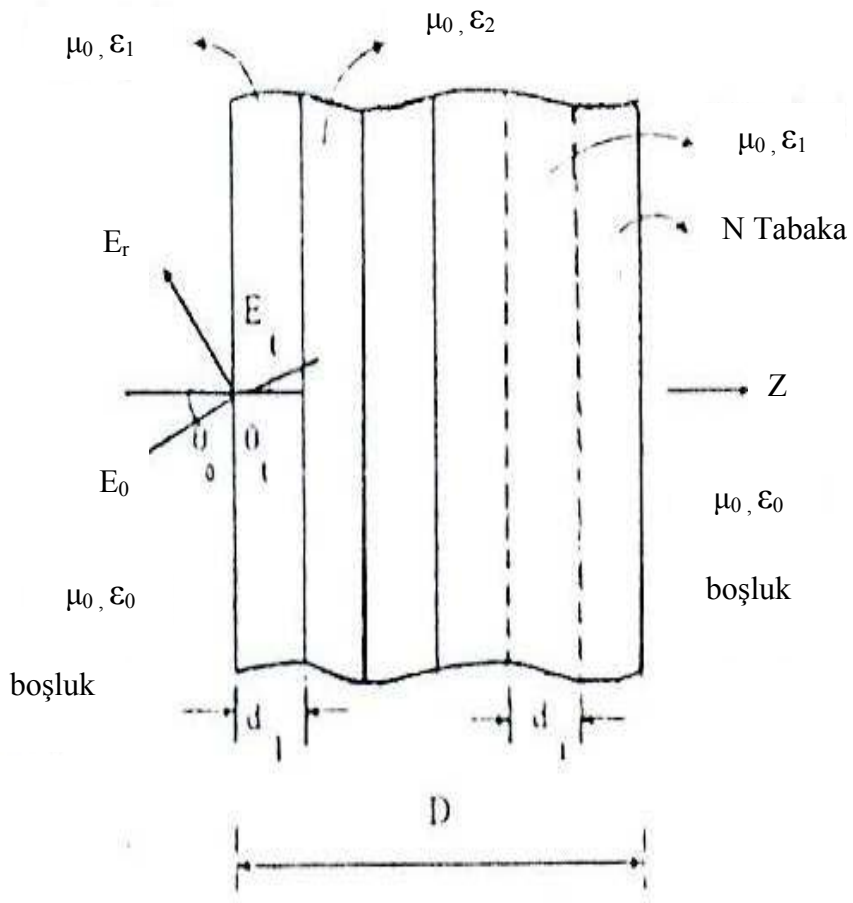
E_i: Biyolojik sistemin herhangi bir noktasındaki iç alanı (V/m)

göstermektedir. Yukarıdaki bağıntıdan görüldüğü gibi verilen bir E_i ve ω için özgül soğurma oranı ε_r'' ile doğru orantılıdır [9].

Dokuların elektriksel özellikleri, belirli bir frekansta yine o dokunun direncine bağlıdır. Bundan dolayı, elektriksel özellikler insanlar arasında farklılıklar gösterir [10].

Modelleme çalışmalarında; radyasyona uğrayan vücudun birim kütle başına soğurduğu güç hesaplanır. Soğurulan bu gücü dosimetrik ölçülerle standardize etmek için modellerde özgül soğurma oranı tanımlanır.

En basit model olan düzlemsel tabaka modelinde; vücudu çevreleyen deri, yağ, kas, kemik, vb. dokular peş peşe dizili tabakalarla temsil edilir ve her bir tabakanın boşluktan gelen elektromagnetik radyasyonundan soğurduğu enerji hesaplanır. İnsan vücudunu iki boyutta etmesi dolayısıyla düzlemsel tabaka modeli, vücudun EM dalga ile etkileşimi hakkında kalitatif bir fikir verir.

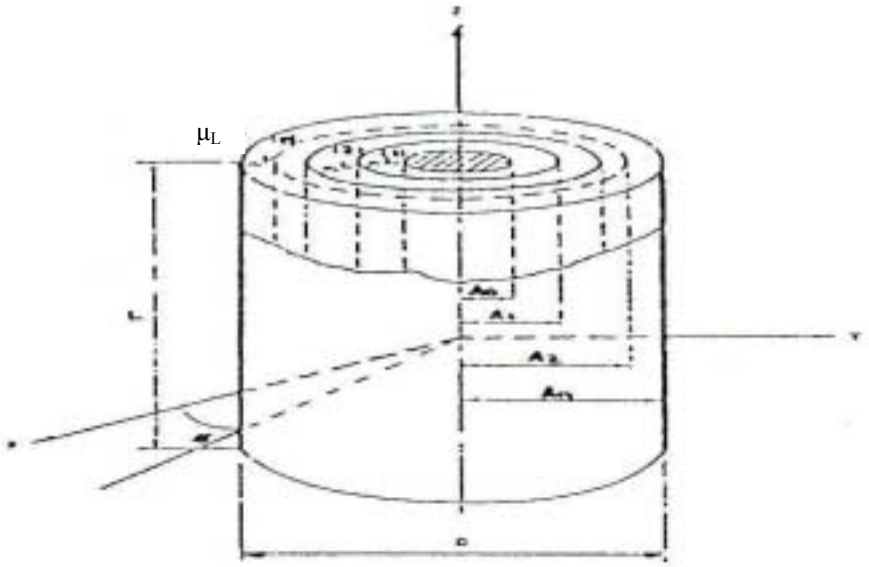


Şekil 2.12 Tabaka Modeli [9]

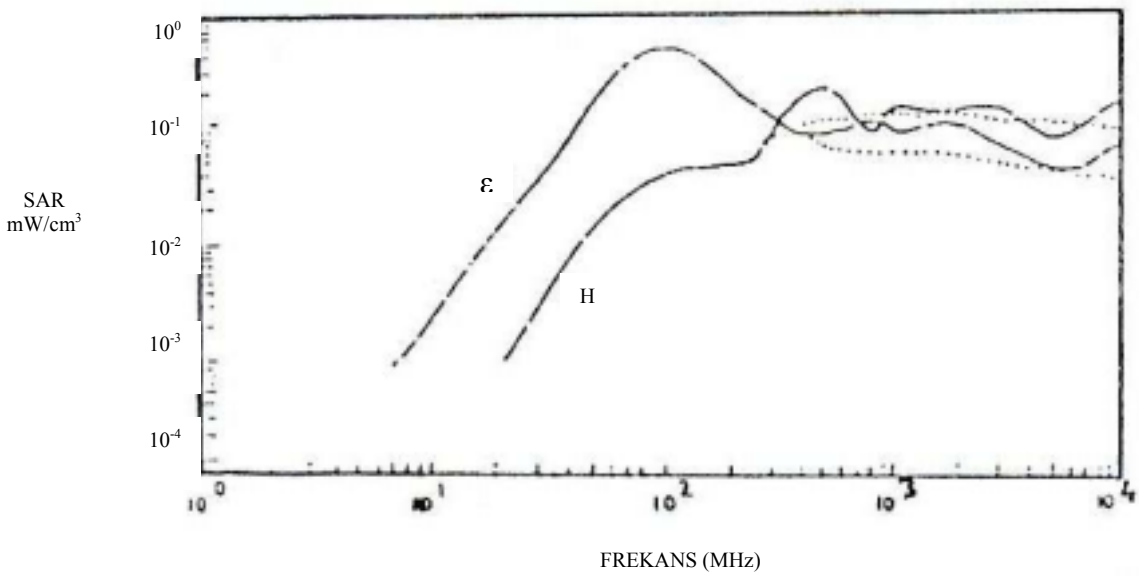
Silindirik modellerde, insan vücudu, kayıplı sonlu uzunluklu bir silindirle modellenerek, özgül soğurma oranı hesaplanır. Soğurulan güç yoğunluğu iç alan, dokuların elektriksel özellikleri, gelen alan frekansı gibi değişik faktörlere bağlıdır.

Şekil 2.13'de 1,75 m boyunda, 70 kg ağırlığında bir insanı temsil eden silindirik model görülmektedir. Bu modelden elde edilen SAR-Frekans ilişkisi Şekil 2.14' de grafik olarak verilmiştir.

Grafikte deri, yağ ve kastan oluşan üç tabakadan alınan sonuçlarla, tek tabaka için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Grafikten görüldüğü gibi belirli bir frekansa kadar iki modelde de SAR aynı oranda artmakta ve daha sonra üç tabakalı model daha fazla enerji soğurmaktadır.



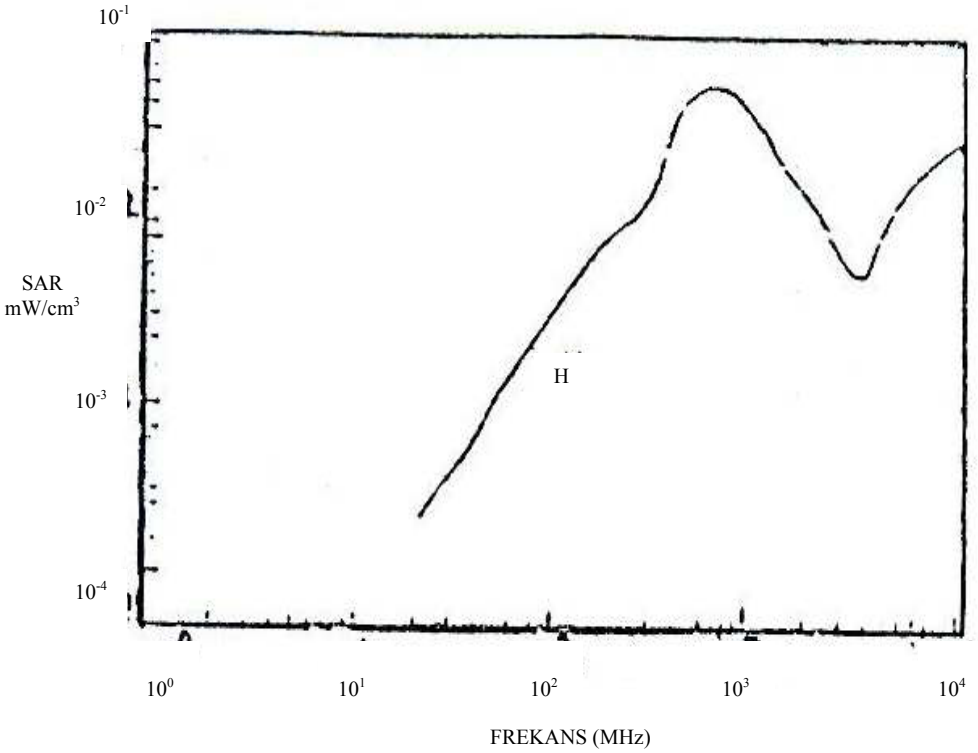
Şekil 2.13 Silindirik Model [9]



Şekil 2.14 Silindirik Modelden Elde Edilmiş SAR-f İlişkisi [9]

(---- Üç Tabaka için, ... Tek Tabaka için)

Şekil 2.15'de ise sonlu uzunluklu silindirik model kullanılarak elbise, hava, deri, yağ ve kas olarak beş tabakalı model için elde edilen değerler görülmektedir. Tabaka sayısı arttıkça 600 MHz civarında rezonans nedeniyle soğurma artmaktadır.



Şekil 2.15 Beş Tabakalı Silindirik Modelden Elde Edilen SAR-f İlişkisi [9]

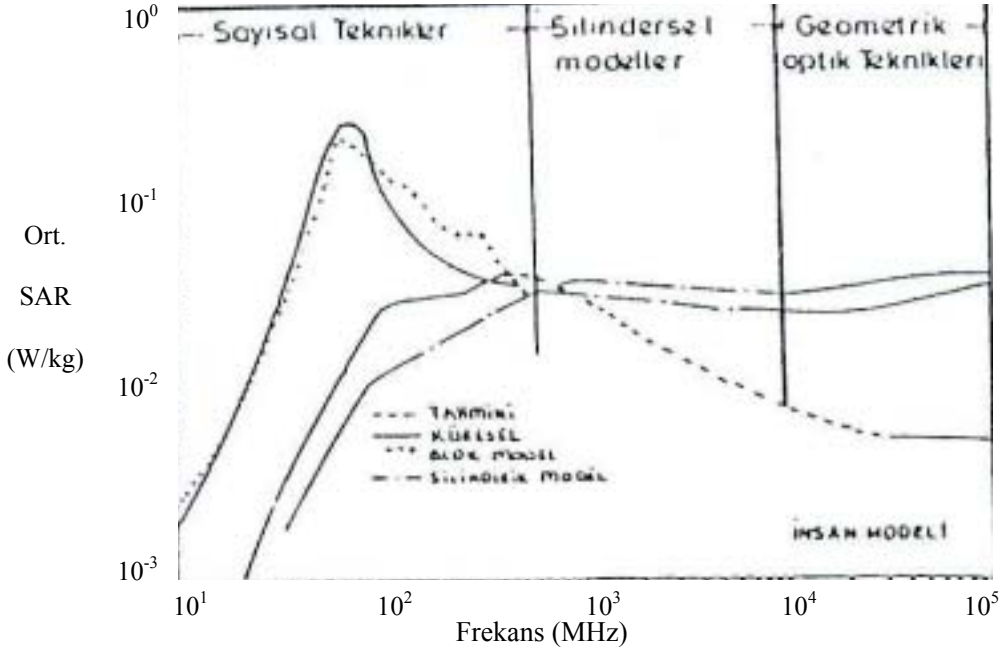
Yukarıda sözü geçen tabaka ve silindirik modellerden başka teorik çalışmalarda kullanılan küresel, yumurtamsı modeller ve moment metodu da vardır.

Küre modeli; düzlemsel tabaka modeline göre daha iyi olmasına rağmen insan vücudunu tamamı ile temsil edemez. Ancak gerek küresel model gerekse düzlemsel tabaka modeli teorik dosimetrenin anlaşılmasında önemli adımların atılmasını sağlamıştır. Çok tabakalı küresel modeller özellikle insan başından soğurulan gücü hesaplamakta kullanılır.

Moment metodunda; modelin herhangi bir hücresinde alan sabit değerde olan bir darbe fonksiyonu ile temsil edilir [6]. Küp şeklinde hücreler hacim ve şekil olarak bir insanı temsil edecek biçimde yan yana getirilir.

Şekil 2.16'da 1 mW/cm^2 güç yoğunluğunda bir elektromagnetik dalgaya maruz kalan bir insan için tüm yöntemlerle elde edilmiş olan SAR-frekans ilişkisi gösterilmiştir. Her yöntem belirli bir frekans bölgesinde başarılı sonuç vermektedir.

Elde edilen sonuçların birleştirilmesi ile elektromagnetik dozimetre hakkında önemli veriler elde edilmiştir [9].



Şekil 2.16 1 mW/cm^2 Güç Yoğunluklu Bir Dalgaya Maruz Kalan Bir İnsan İçin Çeşitli Modellerden Hesaplanmış SAR-f İlişkisine Ait Grafik [9]

Tablo 2.1'de ölçülen tipik doku parametrelerinin 900 MHz ve 1800 MHz cep telefonları frekanslarındaki değerleri listelenmiştir.

Tablo 2.1 İnsan Kafasındaki Tipik Dokular ve Parametreleri

				900 MHz		1800 MHz	
No.	Doku	Hücre	P (kg/m^3)	ε_r	σ	ε_r	σ
0	Hava	12360	---	1	0	1	0
1	İletken	---	---	---	∞	---	∞
2	Kemik	2188	1850	8	0,11	8	0,16
3	Deri/Yağ	2318	1100	34,5	0,6	32	1,9
4	Adale	3490	1040	58,5	1,21	55	1,9
5	Beyin	4066	1030	55	1,23	53	1,7
6	Humor	16	1010	73	1,97	75	2,4
7	Mercek	8	1050	44,5	0,8	41,5	1,29
8	Kornea	103	1010	52	1,85	50	2,32

3. YÜKSEK GERİLİM HATLARININ ELEKTROMAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

3.1 Giriş

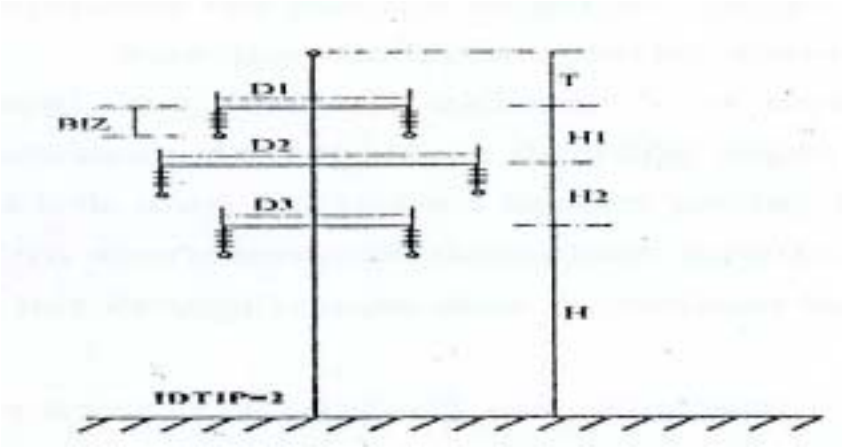
Daha önceki bölümlerde elektromagnetik alanların genel tanımlarına, hesaplama yöntemlerine ve insan vücudunun elektriksel özelliklerine değinilmiştir. Bu bölümde söz konusu elektromagnetik alanların değerlerinin belirlenebilmesi için yapılan hesaplar ve sonuçları ile Carnegie Mellon Üniversitesinin yayınladığı elektromagnetik alan değerleri açıklanacaktır.

Ayrıca magnetik alan ölçümünde kullanılın Gaussmetre hakkında kısaca bilgi verilecektir.

3.2 Elektrik Alan Değerlerinin Hesabı

Yapılmış sayısal hesaplamalar için; 154 kV'luk çift devre Alibeyköy Küçükköy ve 66kV'luk çift devre Ereğli-Kandilli hatları seçilmiştir. Hesaplamalarda Yük Benzetim Yöntemine göre geliştirilen algoritma kullanılmıştır. Seçilen hatların çevresindeki, hat ekseninden yatay uzaklıkta, yerden 1 m yükseklikteki elektrik alan şiddetleri hesaplanmıştır.

Hesaplar hattın direk etkilerinin gözardı edilebileceği bir uzaklıkta, sehimin en büyük olduğu noktada yapılmıştır. Hatlar için kullanılan direk tipi Şekil 3.1'de, direklerle ilgili özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir.

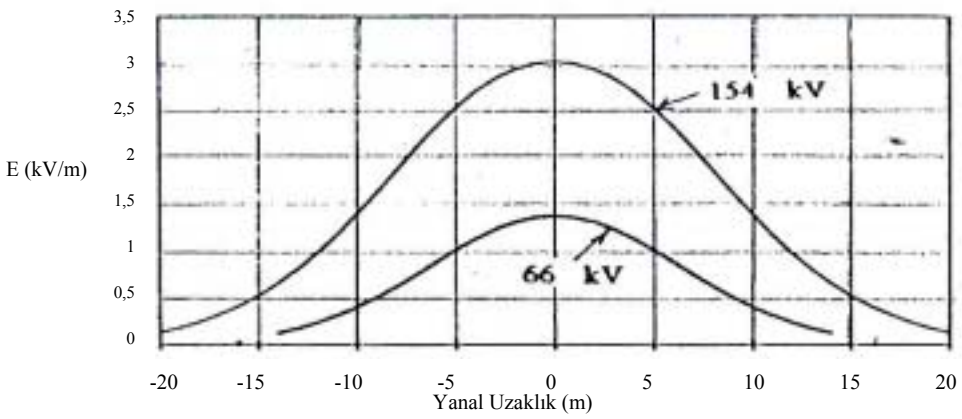


Şekil 3.1 Direk Tipi [12]

Tablo 3.1 Direk Özellikleri [12]

Gerilim (kV)	**66**	**154**
Direk Tipi	A	TA1
H (m)	15.24	18.93
H1 (m)	3.04	4.15
H2 (m)	2.74	4.15
T (m)	2.99	3.15
BIZ (m)	1.2	2.2
D1 (m)	5.8	7
D2 (m)	7.15	9.4
D3 (m)	5.8	7.4

Tablo 3.1'deki verilerden ve geliştirilen algoritmadan yararlanılarak elde edilen elektrik alan şiddetinin hattan uzaklıkta değişimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 66 kV ve 154 kV'luk Enerji İletim Hatları Çevresinde Hattan Uzaklıkta Elektrik Alan Şiddetin Değişimi. [11]

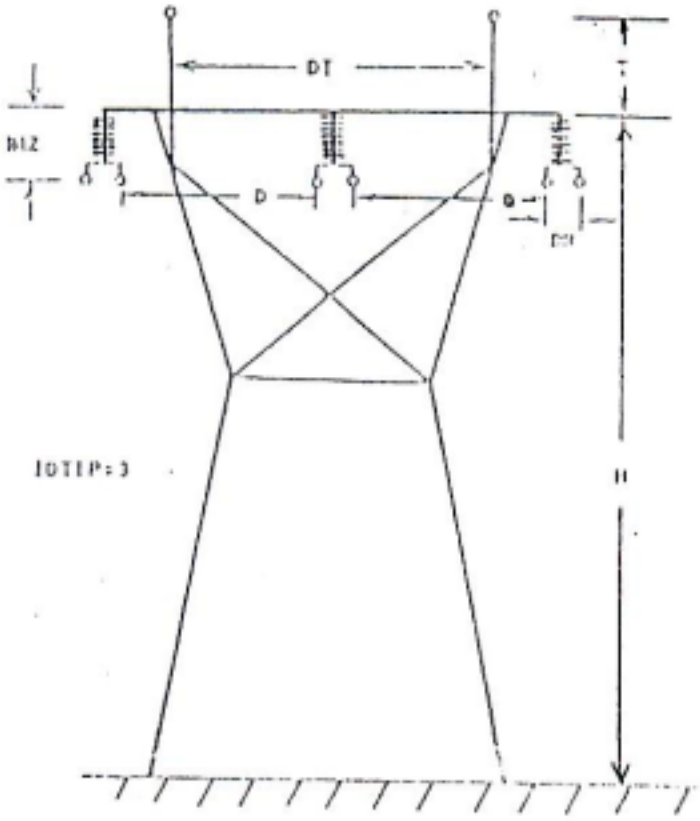
Bu eğrilerden, alan şiddetinin hattan uzaklaştıkça azaldığı, hatta yakın bölgelerde ise yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Yapılan hesaplamaların

sonucunda, elektrik alan şiddetinin 66 kV'luk hat örneği için hattan yaklaşık 5 m uzaklıkta 1 kV/m, 10 m uzaklıkta 0.5 kV/m mertebesinde değerlere düştüğü saptanmıştır. Aynı şekilde 154 kV'luk hat örneği için elektrik alan şiddetinin hattan yaklaşık 5 m uzaklıkta 2.5 kV/m, 10m uzaklıkta ise 1.5 kV/m mertebesinde değerlere düştüğü saptanmıştır. Hattan olan uzaklık arttıkça her iki hat örneği içinde alan şiddetinin hızla azaldığı görülmektedir [11].

3.3 Magnetik Alan Değerlerinin Hesabı

Bu çalışmada ülkemizde kullanılan üç tip, altı iletkenli yüksek gerilim hatları için magnetik alan hesabı yapılarak, yüksek gerilim hatları çevresindeki magnetik alan dağılımının hattan akan akıma, hattan uzaklığa ve yerden yüksekliğe göre değişimi incelenmiştir.

Hesapları yapılan hatlardan ilk ikisi için, kısım 3.2'de elektrik alan hesabında kullanılan A (66 kV) ve TA1 (154 kV)'luk direkler üçüncüsü için ise aşağıda tipi ve özellikleri verilen 4Al tipi (IDTIP = 3) direk baz alınmıştır [12].



Şekil 3.3 Direk Tipi [12]

Tablo 3.2 Direk Özellikleri

Direk Tipi	**4A1**
D(m)	8.7
DT(m)	11.962
DB(m)	0.457
BIZ (m)	4.26
T (m)	3.5
H (m)	32.295

İçinden akım geçen iletkenlerin çevresinde oluşan magnetik alanları hesaplamak için Biot-Savart yasasından yararlanılmıştır. Bu yasaya göre içinden I akımı geçen bir iletkenden r uzaklığındaki bir noktada magnetik alan şiddeti;

$$H = I / 2.\pi.r \quad \text{(A/m)} \tag{3.1}$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. İletken sayısı birden fazla olduğunda, her bir iletkenden geçen akımın magnetik alana katkısı gözönüne alınmaktadır. Her bir iletkenin bir P noktasında oluşturduğu magnetik alanların bileşkesi, yatay ve düşey bileşenleri ile P noktasındaki magnetik alanı verir.

Koordinatları X_p ve Y_P olan bir P noktasının, koordinatları X_i, Y_i olan bir iletkene olan uzaklığı;

$$r_i = \sqrt{(X_P - X_I)^2 + (Y_P - Y_I)^2} \tag{3.2}$$

eşitliğinden hesaplanır. Söz konusu iletkenden geçen I_i akımının P noktasında oluşturduğu magnetik alanın Hx_i yatay ve Hy_i düşey bileşenleri;

$$H_{X_I} = \frac{I_i}{2\pi} \frac{Y_P - Y_I}{r_i^2} \tag{3.3}$$

$$H_{y_I} = \frac{I_i}{2\pi} \frac{Y_P - X_I}{ri^2} \tag{3.4}$$

bağıntılarından hesaplanabilir. Bu eşitliklerden n iletkenli bir sistemin herhangi bir noktada oluşturduğu bileşke magnetik alan şiddeti (H);

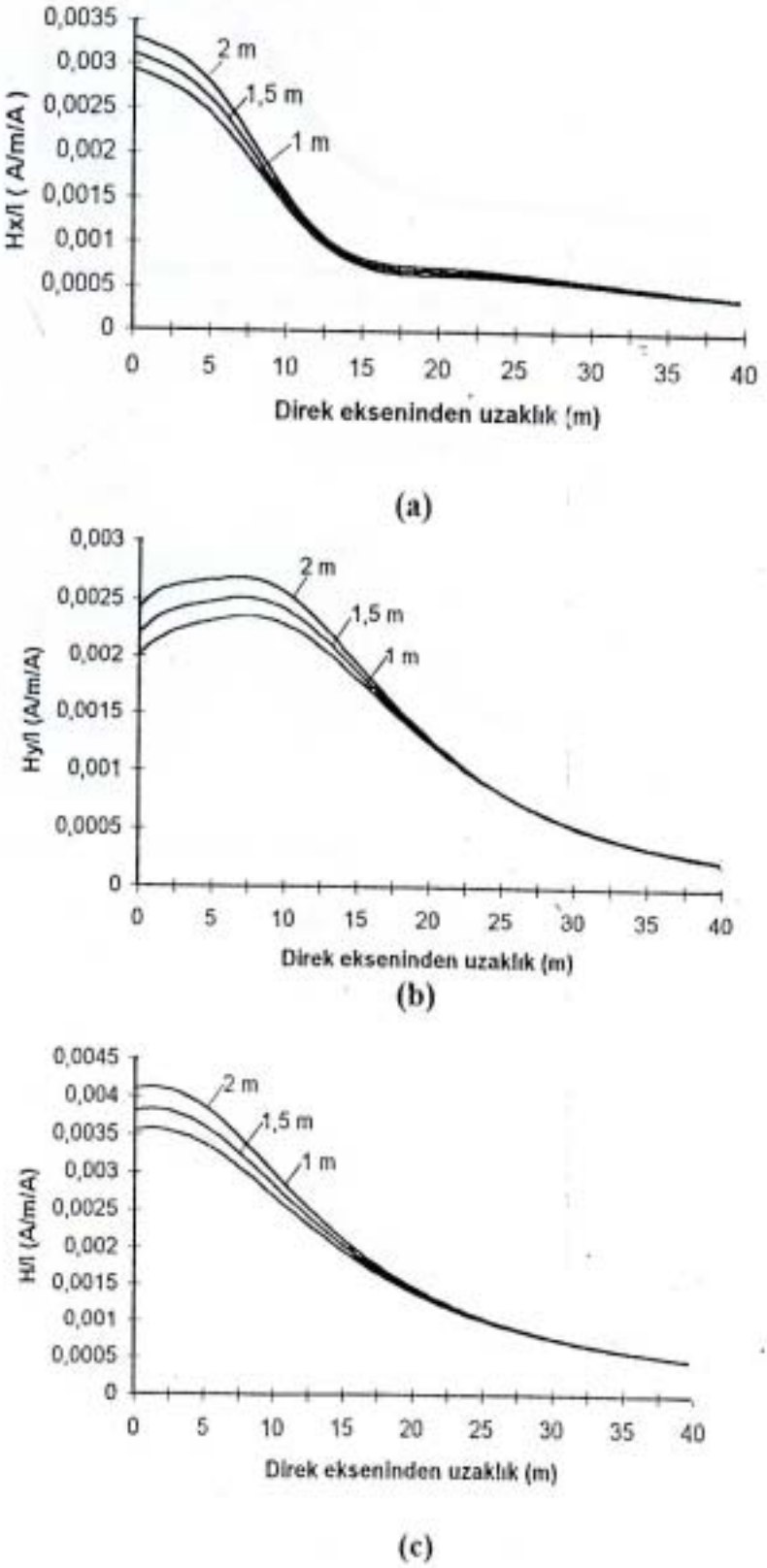
$$H = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} Hx_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{n} Hy_i\right)^2} \tag{3.5}$$

ve B magnetik akı yoğunluğu

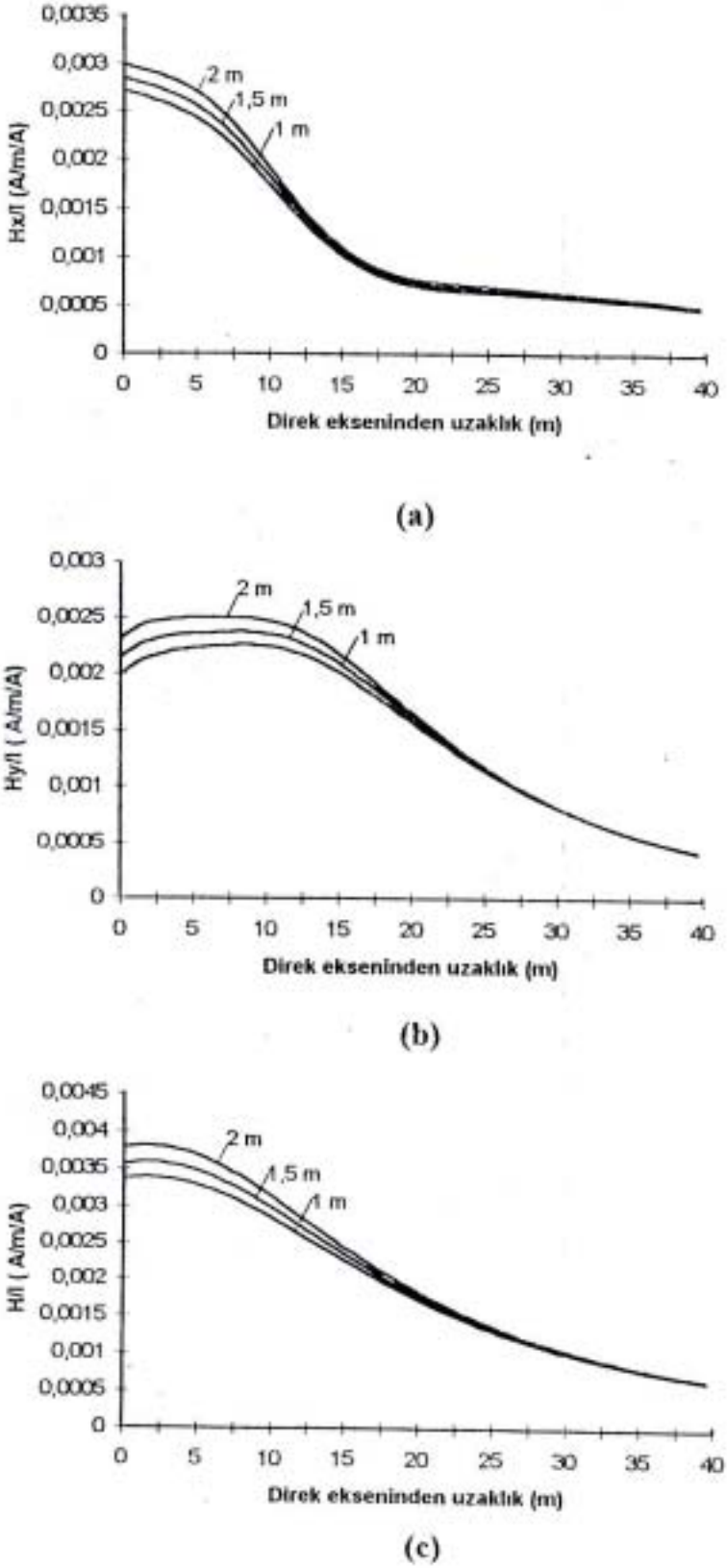
$$B = \mu_o \cdot H \tag{3.6}$$

olur. Burada $\mu_o = 4\pi \,.10^{-7}$ H/m değerinde boşluğun magnetik geçirgenliğidir [16].

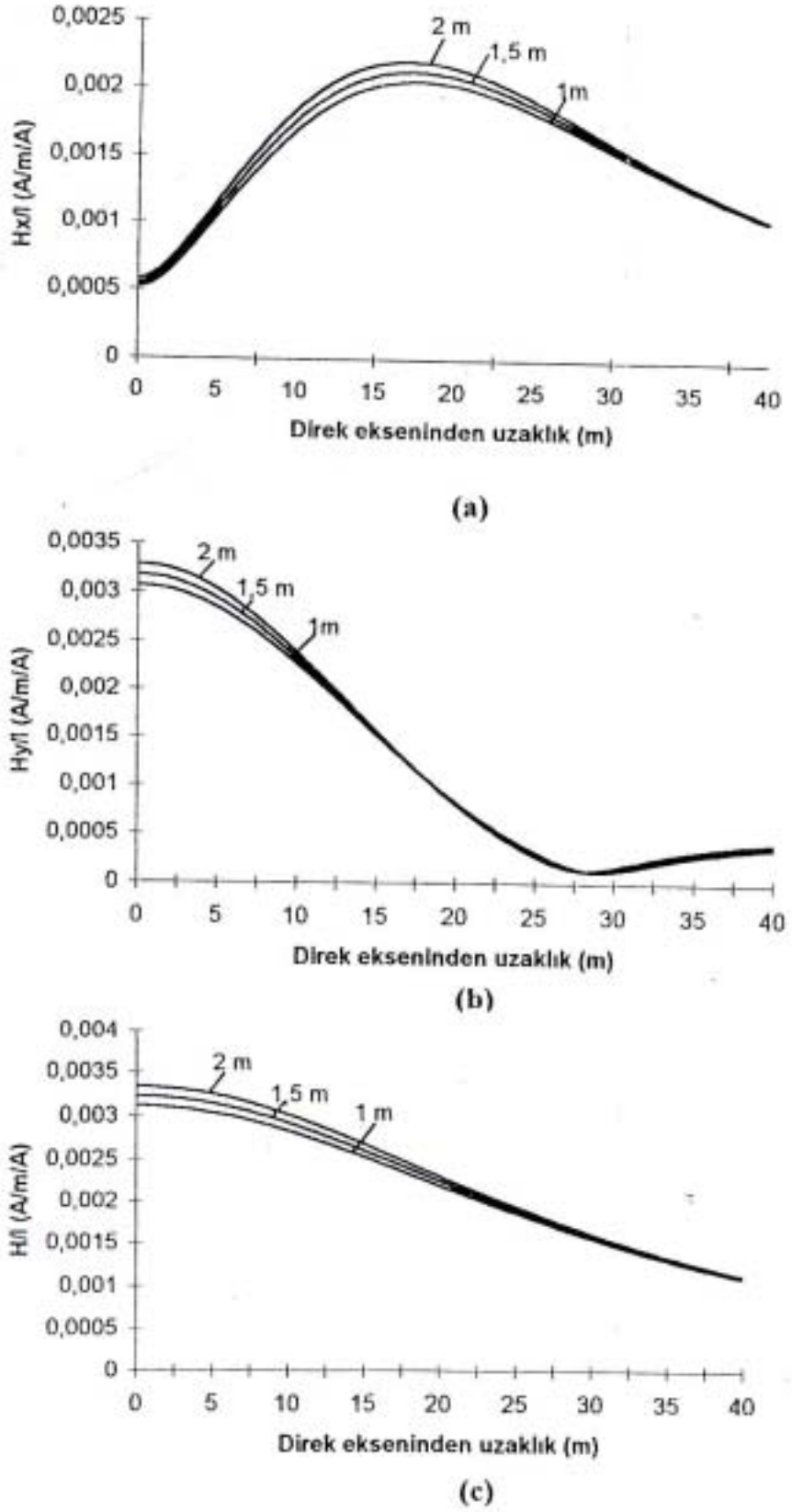
Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak, her üç direk tipinin kullanıldığı hatlar için yapılan hesaplamalarda, hatlardan akan akımların değerlerinin değişebileceği düşünülerek, magnetik alan dağılımları normalize edilmiş değerleriyle bulunmuştur. Bu değerler hattan akan akım değerleriyle çarpılarak magnetik alanların mutlak değerleri bulunabilmektedir. Hatlarda oluşacak magnetik alanın direk eksenlerine göre simetrik bir dağılım göstereceği düşünülerek, magnetik alanın hattan olan uzaklıkla değişimi, direk ekseninden uzaklığa göre çizdirilmiştir. Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da her bir hat için magnetik alan bileşenleri ve bileşke magnetik alanın, direk ekseninden 40 m'ye kadar uzaklıkta ve yerden 1; 1,5 ve 2 m yükseklikteki normalize edilmiş değişimleri görülmektedir.



Şekil 3.4 A Tipi Direk Kullanılan Hatta Yerden 1 m, 1,5 m ve 2 m Yükseklikte Magnetik Alan Şiddetinin Yatay (Hx) (a), Düşey (Hy) (b) ve Bileşke H (c) Değerlerinin Direk Ekseninden Uzaklıkla Değişimi [12]



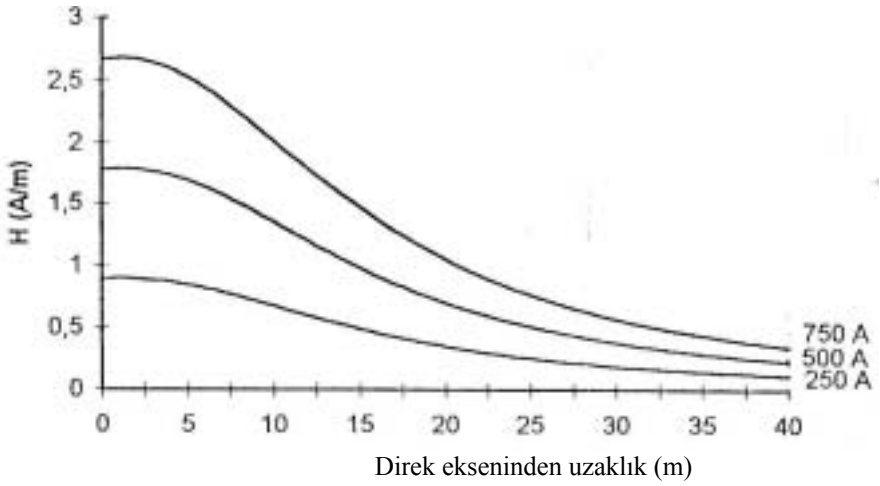
Şekil 3.5 TA1 Tipi Direk Kullanılan Hatta Yerden 1 m, 1,5 m ve 2 m Yükseklikte Magnetik Alan Şiddetinin Yatay (Hx) (a), Düşey (Hy) (b) ve Bileşke H (c) Değerlerinin Direk Ekseninden Uzaklıkla Değişimi [12]



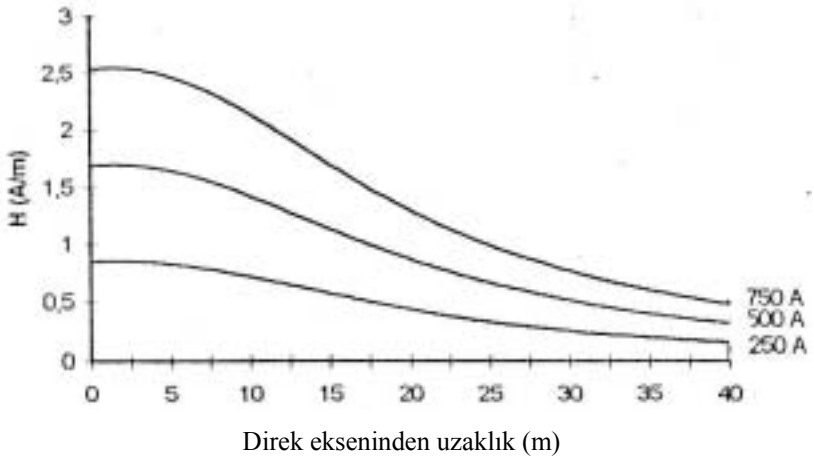
Şekil 3.6 4A1 Tipi Direk Kullanılan Hatta Yerden 1 m, 1,5 m ve 2 m Yükseklikte Magnetik Alan Şiddetinin Yatay (Hx) (a), Düşey (Hy) (b) ve Bileşke H (c) Değerlerinin Direk Ekseninden Uzaklıkla Değişimi [12]

Hesaplamaların yerden 1; 1,5 ve 2 m yükseklikler için yapılmasının nedeni insanların bulunabileceği yüksekliklerdeki alan değerlerinin bulunabilmesidir. Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi iletkenlerin çevresinde ve yerden yükseklik arttıkça magnetik alan değerleri artmakta ancak hattan uzaklıkla hızla düşmektedir. Alanın düşey bileşeninin hattan uzaklıkla azalmasının daha yavaş olduğu görülmektedir. Bileşke magnetik alan şiddetinin maksimum değerinin direk ekseninin altında olduğu görülmektedir.

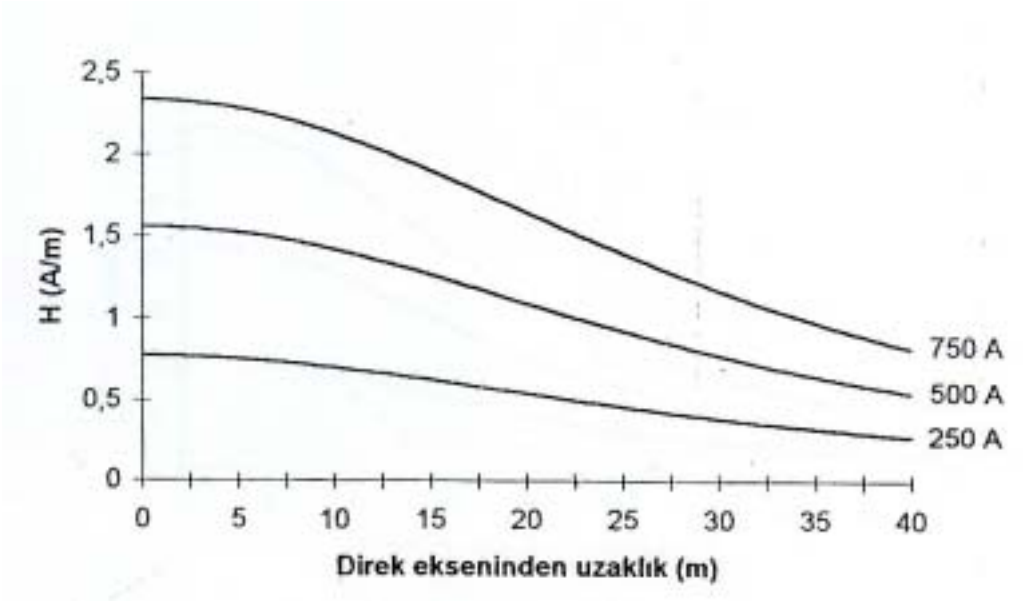
Şimdiye kadar yapılan hesaplarda magnetik alanların normalize değerleri bulunmuştur. Bu değerlerin, akım değeri ile çarpılması, magnetik alanların mutlak değerlerini vermektedir. Hesaplarda kullanılan üç hat tipi için, 250 A, 500 A, 750 A'lik akım değerleri ile elde edilen magnetik alan dağılımları Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.7 A Tipi Direk Kullanılan Hatta, Magnetik Alan Şiddetinin Yerden 1 m Yükseklikte 250 A, 500 A ve 750 A İçin Direk Eksenlerinden Uzaklıkla Değişimi [12]



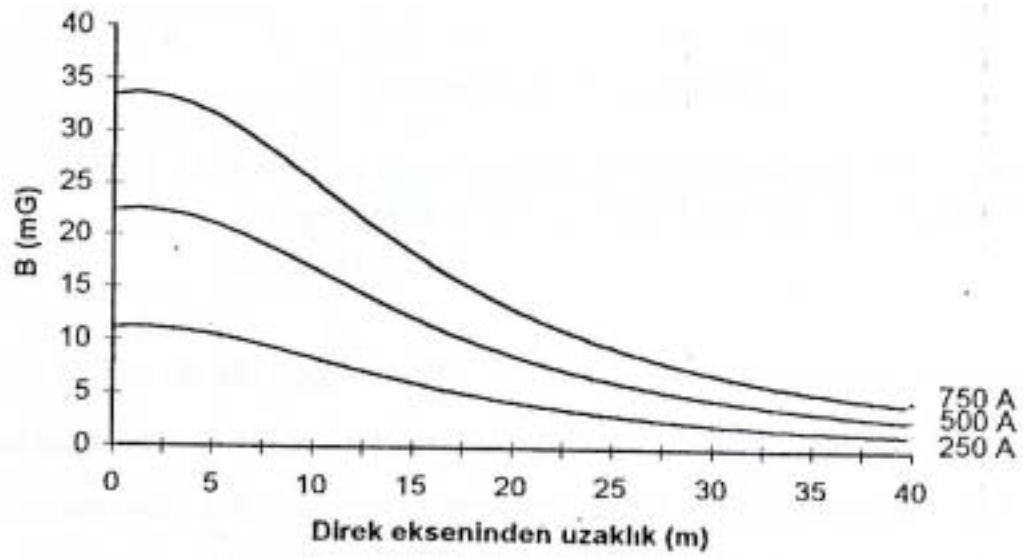
Şekil 3.8 TA1 Tipi Direk Kullanılan Hatta, Magnetik Alan Şiddetinin Yerden 1 m Yükseklikte 250 A, 500 A ve 750 A İçin Direk Eksenlerinden Uzaklıkla Değişimi [12]



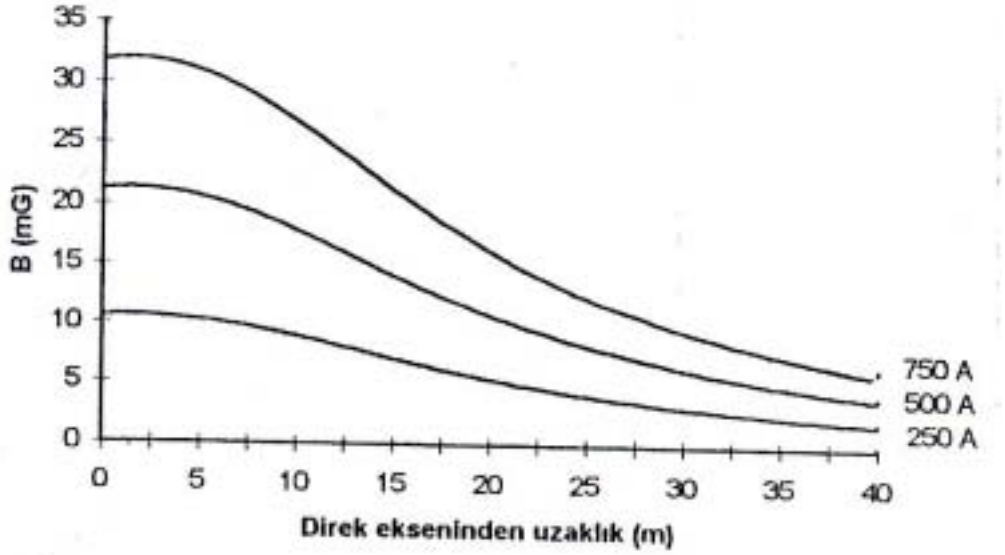
Şekil 3.9 4A1 Tipi Direk Kullanılan Hatta, Magnetik Alan Şiddetinin Yerden 1 m Yükseklikte 250 A, 500 A ve 750 A İçin Direk Eksenlerinden Uzaklıkla Değişimi [12]

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi hatlardan geçen akımların değerinin yükselmesi ile magnetik alan şiddeti de artmakta, ancak hattan uzaklık arttıkça hızla düşmektedir.

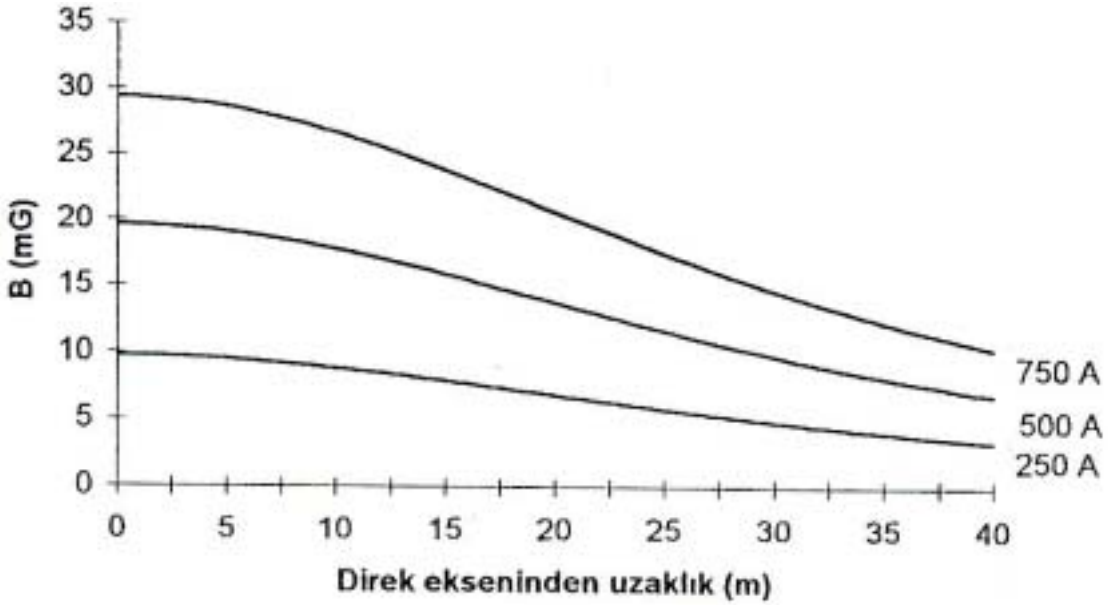
Magnetik alan değerlendirmesinde önemli bir büyüklük olan magnetik akı yoğunluğu, B için denklem (3.6)'dan hesaplanarak elde edilen dağılımlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3.10 A Tipi Direk Kullanılan Hatta, Magnetik Akı Yoğunluğunun Yerden 1 m Yükseklikte 250 A, 500 A ve 750 A İçin Direk Ekseninden Uzaklıkla Değişimi [12]



Şekil 3.11 TA1 Tipi Direk Kullanılan Hatta, Magnetik Akı Yoğunluğunun Yerden 1 m Yükseklikte 250 A, 500 A ve 750 A İçin Direk Ekseninden Uzaklıkla Değişimi [12]



Şekil 3.12 4A1 Tipi Direk Kullanılan Hatta, Magnetik Akı Yoğunluğunun Yerden 1 m Yükseklikte 250 A, 500 A ve 750 A İçin Direk Ekseninden Uzaklıkla Değişimi [12]

Magnetik akı yoğunluğunun akımla ve hattan uzaklıkla değişimi, magnetik alan şiddetininkine oldukça benzemektedir. Ancak magnetik alan seviyelerinin incelenmesinde daha yaygın olarak magnetik akı yoğunluğu baz alındığı için bu dağılımlar çıkartılmıştır.

3.4 Carnegie Mellon Üniversitesi'nin Yayınladığı EMA Değerleri

Carnegie Mellon Üniversitesi insanları, iletim hakkında yapılan magnetik alan çözüm sonuçları hakkında bilgilendirmek amacı ile bir broşür yayınlamıştır. Broşürde magnetik alanın, hem ortalama elektrik kullanımının hem de yük artışlarından dolayı fazla kullanımın görüldüğü zamanlarda, hattan uzaklığa göre değişim değerleri verilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 3.3'de görüldüğü gibi, önce maksimum alan büyüklüğü, daha sonra da hattan 15, 30, 60 ve 90 metre uzaklıktaki magnetik alan büyüklükleri olarak verilmiştir. Tüm ölçümler yerden 1 m yükseklikte yapılmıştır ve tüm büyüklükler mG cinsindendir.

Tablo 3.3 Ölçüm Sonuçları [9]

İletim Hattının Tipi	**Maksimum Alan (mG)**	**Hattan Uzaklık (m)**			
115 kV		**15**	**30**	**60**	**90**
Ortalama Yükte	30	7	2	0.4	0.2
Aşın Yükte	63	14	4	0.9	0.4
230 kV					
Ortalama Yükte	58	20	7	1.8	0.8
Aşın Yük te	118	40	15	3.6	1.6
500 kV					
Ortalama Yükte	87	29	13	3.2	1.4
Aşın Yükte	183	62	27	6.7	3.0

Bu ölçümler yüksek gerilimli iletim hatları için yapılmıştır. Yerleşim bölgelerinde görülen dağıtım hatlarının gerilim düzeyleri daha düşük olmasına rağmen akım değerleri yüksektir. Dağıtım hatları için olması düşünülen magnetik alan değeri 5 mG'un altındadır. Ancak çok kalabalık yaşama alanlarına yakın geçen dağıtım hatları için yaklaşık 50 mG magnetik alan değerleri ölçülmüştür [9].

Tablo 3.3'deki sonuçlardan ortalama ve aşırı yükte de hattan uzaklık arttıkça magnetik alan değerinin hızla düştüğü görülmektedir.

3.5 Gaussmetre

Gaussmetre; magnetik alanın büyüklüğünü ölçmekte kullanılan bir alettir. Gaussmetre, iletim hatlarının, transformatörlerin, dağıtım alanlarının ve evde kullanılan aletlerin çevresinde oluşan magnetik alanların ölçümünde kullanılabilir.

Gaussmetrenin içinde ince telden bir sargı mevcuttur. Ölçülmek istenen magnetik alanın bu sargıda indükleyeceği akım, magnetik alan değerini verir [13]. Gaussmetreler, kompleks ve pahalı olandan basit ve ucuz olana değişmektedir. Kompleks olan üç eksenli, basit olan ise tek eksenli olarak yapılmıştır. Her iki türün de ölçüm kapasiteleri incelenmiştir [14].

Tek Eksenli Gaussmetre: Tek eksenli gaussmetrenin ölçülmek istenen magnetik alan içinde, x,y ve z eksenlerinde ayrı ayrı kullanılarak ölçümlerin kaydedilmesi gerekir. Kaydedilen veriler kullanılarak matematiksel bir eşitlikle alan değeri hesaplanır [13].

Aletin alan ölçme aralığı 10 mG ile 100 G arasındadır. Ölçme duyarlılığı yaklaşık % 1 civarındadır.

Elde taşınabilen bu alet, içteki sargı veya dışarıya takılabilen bir sargı ile ölçüm yapabilir [14].

Üç Eksenli Gaussmetre: Ölçümlerin daha hızlı yapılabilmesi için, üç bölümden oluşturulmuştur. Ölçümlerde bulunan sonuçlardan magnetik akı B şu şekilde hesaplanır.

$$B = \sqrt{(B_{xort})^2 + (B_{yort})^2 + (B_{zort})^2} \tag{3.7}$$

Formül (3.7)'den de anlaşılacağı gibi üç eksen için bulunan magnetik akı değerlerinin karelerinin toplamının karekökü bize, bileşke magnetik akı değerini verecektir.

4. ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDE YARATTIĞI ETKİLER

4.1 Giriş

Elektrik ve magnetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkilerini tam anlamıyla öğrenebilmek için, özellikle 90'lı yıllardan sonra, oldukça fazla sayıda araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların ortak amacı; enerji iletim hatlarının ve çeşitli cihazların etraflarında oluşturdukları elektrik ve magnetik alanların canlı metabolizmalar üzerindeki etkilerini tespit etmektir. Bu araştırmalar ve sonuçları, yayınlanan makaleler, düzenlenen kongrelerle afişe edilmektedir ve toplumlar bu konuda daha duyarlı hale getirilmek istenmektedir.

Bu bölümde öncelikle, diğer bölümlerde bahsettiğimiz elektrik ve magnetik alanların, insan sağlığı üzerine etkilerinin incelenmesi için yapılan çalışmalara ve laboratuar ortamında hazırlanan düzenekler sayesinde elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Daha sonra ise elektromagnetik alanların; kanser, Alzheimer gibi hastalıklar ve insan vücudunda görev yapan sistemlere (Kardiovasküler sistem, sinir sistemi, endokrin sistemi, vs.) olan etkilerinden bahsedilecektir.

4.2 50 Hz Frekanslı Değişken Elektromagnetik Alanların Etkileri

4.2.1 Giriş

1970'li yılların başında Almanya'da Rudolf Hauf; insanlar üzerinde laboratuarda deneysel olarak araştırmalar yapmıştır. Bu bölümde deney koşulları verildikten sonra elde edilen sonuçlar incelenecektir. Deneylerin yapıldığı koşullarda, incelenen alanların zararlı etkilerinin olmadığı gözlemlenmektedir [15].

4.2.2 Yapılan Araştırmalar ve Deney Koşulları

Yüksek gerilim tesisleri içerisindeki alan koşulları laboratuarda modellenmeye çalışılmıştır. Almanya'da Rudolf Hauf tarafından gerçekleştirilen deneylerde, çevreden gelebilecek ve sonuçları etkileyebileceği düşünülen etkiler giderilmiştir. Başlangıçta 500 kV'luk gerilimler uygulanmış, özel bazı durumlarda uyumlu olması için deneylerde daha yüksek gerilimler de kullanılmıştır.

Araştırmalar daha çok 50 Hz frekanslı elektrik alanları üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Çalışmalarda yer değiştirme akımı, magnetik alan, elektrik ve magnetik alanlar birlikte incelenmiştir. Böylece alanların tek başına ve toplu etkileri incelenebilmiştir. Elektrik alanın etkileri incelenirken yerden 1,50 m yükseklikte 20 kV/m'ye varan çeşitli alan şiddetleri oluşturulmuştur. İncelenen diğer durumlar ise; 200 µA'lik bir yer değiştirme akımı ve 0,3 T'lık bir magnetik alandır.

Deneylerde kullanılan kadın ve erkeklerin ortalama yaşı 25 olup, çoğu öğrencilerden seçilmiştir. Bu yaş grubunda, alınacak sonuçları etkileyebilecek, yorgunluk, bitkinlik veya herhangi bir hastalık olasılığına karşın denekler deneylerden önce sıkı bir sağlık kontrolünden geçirilmiştir. Deneyler günün hep aynı saatlerinde yapılarak, bunun aksi bir uygulamadan gelebilecek farklılıklar giderilmeye çalışılmıştır.

Deneyler sırasında, deneklerin vücutları toprağa bağlanmış olup, alanın ya da akımın verilmeye başlandığını hissedememişlerdir. Denekler eğer isterlerse oturdukları yerde kitap okuyabilmişlerdir. Deneylerin yapıldığı oda sıcaklığı; 22 °C ve bağıl nem oranı yaklaşık %50 olarak belirlenmiştir.

Deneyler en çok 3 saat sürmüştür. Bu süre, göreceli olarak kısa bir etkilenme süresi ise de ani ve kesin etkilerin ortaya çıkabilmesi için yeterli sayılmıştır.

Deneylerde gözlenen parametreler; tepki süresi, kanın bileşimi, sedimentasyon hızı, trombositler, retikülasitler, hızlılık deneyi, elektrokardiyogram, elektroansefalogram, nabız sıklığı ve atardamar basıncıdır. Seçilen bu parametreler kullanılarak alan etkime deneyleri iki farklı grup üzerinde ve iki defa yapılmıştır. Bir grupta tepki süresi her beş dakikada bir otomatik olarak kaydedilmiştir. Kan testi her deneyin başında ve sonunda yapılmıştır. Kimyasal incelemelerde her defasında aynı

yöntemler kullanılmış ve aynı asistanlarca yapılmıştır. İkinci grupta, tıbbi – fiziksel parametreler her on dakikada bir kaydedilmiştir. Elektrokardiyogram ve ansefalogram kaydedilirken akım (veya alan) kısa bir süre kesilmiştir.

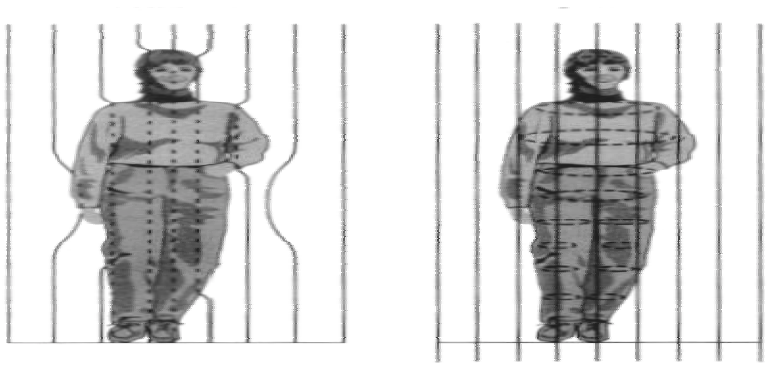
Kolesterol ve trigliserid değerleri, elektrik ve magnetik alanların bir arada uygulandığı deneylerde, deneyin başında ve sonunda deneyin bitiminden 20 ve 24 saat sonra kaydedilmiştir. Her incelemede on denekten alınan sonuçlar değerlendirilmiş, dış görünüşe ilişkin gözlemlerin yanı sıra vücudun iç yapısı üzerinde de incelemeler yapılmıştır.

Elektrik alanı içinde yapılan deneyler için hava soğutmalı ve dış etkilerden korunan bir laboratuar kurulmuştur. 2,5 x 2,5 metre büyüklüğünde tavan elektrodu, 1 cm'lik gözleri olan metal kafes şeklinde düzenlenmiş ve yerden yüksekliği 2,9 m olacak şekilde yerleştirilmiştir. Anahtarlama ve ölçme aletleri yandaki bir odaya konulmuş ve pencere yardımıyla laboratuar bu odadan gözlenmiştir.

50 Hz frekansta 200 μA'lik zamanla değişen bir akım, vücuttan üç saat süreyle özel bir aygıt kullanılarak geçirilmiştir. Bu aygıt elektrotlardaki, deri ve vücut dirençlerindeki periyodik değişimlerden etkilenmeden, sürekli bir akım sağlamaktadır. Akım iki elin bileklerine bağlı bilezik elektrotlarla vücuda girmekte ve ayak bileklerine bağlı elektrotlarla çıkmaktadır.

Magnetik alanla ilgili incelemeler için, laboratuarda, kare kesitli, 1,5 m genişliğinde 24 cm derinliğinde üzerinde 40 sarım bulunan tahta bir çerçeve kullanılmıştır. Denekler bu odada oturmuş ve hesaplanan alan şiddetleri ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Elektrik Alan Magnetik Alan



Şekil 4.1 Elektrik ve Magnetik Alanın İnsan Vücudunda Gözlendiği Durumlar [23]

Elektrik ve magnetik alanların birlikte uygulandığı deneyler için, laboratuarda, yerden 3 m yüksekliğe yerleştirilmiş, 3,5 x 3,5 m büyüklüğünde ve 3 cm'lik gözleri olan metal bir kafes tavan elektrodu olarak yerleştirilmiştir. Magnetik alan kaynağı olarak iki adet bobin kullanılmıştır. Bunlar 4,5 x 2,5 m büyüklüğünde tahta çerçevelerden oluşturulmuş ve 40 sarımlı olarak düzenlenmiştir. Bobinler 2 m aralıklarla yerleştirilmiş olup, yer ile 45° ve birbirleriyle 90° açı yapacak şekilde koyulmuşlardır. Ölçme aletleri ayrı bir odaya alınmış ve laboratuar bu odadaki bir pencere yardımıyla gözlenmiştir.

4.2.3 Deney Sonuçları

Bu araştırmada bütün deneyler hem iç hem de dış etkilerin en aza indirildiği ve klinik – kimyasal ve tıbbi – teknik hataların giderildiği koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde, ölçülen tepki sürelerinin, deneğin ne ölçüde hazır olduğuna,, dikkatine ve konsantrasyon yeteneğine bağlı olduğu saptanmıştır. Gözlemi yapan kişinin hiçbir etkisi olmamıştır. Çünkü kullanılan aygıt deneyin tüm işleyişini otomatik olarak denetlemiştir. Tepki süreleri yalnızca, üzerinde deneyin yapıldığı denek tarafından belirlenmiştir. Denetim deneyleri, bu zamanların, grup üzerinde ortalama olarak ne ölçüde değiştiğini göstermektedir. Onar kişilik gruplara bölünmüş toplam yüz kişiden elde edilen bilgiler istatistiksel olarak doğru kabul edilebilecek yapıdadır.

Elektrik alanı içinde yapılan deneylerin sonuçları tepki sürelerinde, alan şiddetine bağlı olmayan bir iyileşme göstermektedir. Bu, uyarıcı bir etki olarak kabul edilebilir ve patolojik bir öneme sahip değildir. Diğer araştırmalarda ise önemli değişiklikler gözlemlenmemiştir.

Kan bileşimlerinin incelenmesinde, bütün deneylerde eritrositlerde ve hemoglobinde önemli değişiklikler görülmemiş, ancak lökositler, nötrofiller ve retikülasitlerde artış gözlenmiştir. Ancak bu artışlar fizyolojik sınırlarda kalmıştır. Bu olgu bir uyarı etkisi olarak düşünülebilir. Sedimantasyon hızı ve kan bileşimi (hızlılık testi ve trombositler) de deneylerde değişiklik göstermemiştir.

Kolesterol ve trigliseridler yalnızca elektrik ve magnetik alanların birlikte bulunduğu deneylerde gözlenmiş, değerleri % 1 ve % 3 arasında değişim göstermiştir. Bu değişimler dikkate değer değişimler olarak nitelendirilmemiştir.

Elektrokardiyogram kayıtlarında da bir farklılık gözlenmemiştir. Sadece üç saatlik deney boyunca nabız sıklığında hafif bir düşme olmaktadır. Alan şiddeti ne olursa olsun bütün deneylerde aynı olgu saptanmıştır. Deneyler boyunca nabız artışında bir hızlanma kaydedilmemiştir. Nabız sıklığındaki düşüş, üç saat boyunca bir masa başında oturan her insanda görülebilecek bir rahatsızlık olarak açıklanabilir.

Deneyde yer alan kişilerin hiçbirisinde, merkezi sinir sisteminde bir değişiklik gözlenmemiştir. Atardamar basıncında alan etkisi gözlenmemiştir. Kan basıncı, her gün ölçüldüğü saatteki fiziksel, zihinsel ve psikolojik yorgunluğa bağlı olarak değişmektedir. Üç saat boyunca deney masasında oturan ve sağlık durumları daha önceki testlerde iyi olarak saptanmış olan deneklerde yukarıda adı geçen değişimler gözlenmiştir. Bütün bu sonuçlar göstermektedir ki, uygulanan alan ya da akımın etkileri önemli değişikliklere yol açmamaktadır.

Yapılan deneylerde alan etkime süresi hep kısa tutulmakla birlikte sonuçlar uzun dönemli ve ciddi başka araştırmaların sonuçlarıyla büyük bir benzerlik göstermektedir [15].

4.3 60 Hz Frekanslı Değişken Elektrik Alanların Etkileri

4.3.1 Giriş

1960'lı yıllarda Amerika'da 60 Hz frekanslı yüksek gerilim alanlarının insanlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada enerjili yüksek gerilim hatlarının bakımında çalışan hat işçilerini etkileyen elektrik alanların şiddetleri üzerinde yapılmış deneysel yaklaşımlar ele alınmaktadır.

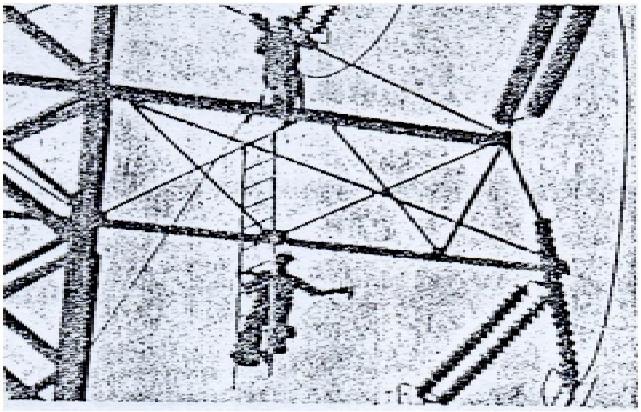
Bir bölümü alışılagelmiş bakım işlerinde çalışan, bir kısmı ise enerji yüklü bir iletkenle bağlı hava asansörü kovasından çıplak elle çalışan iki işçi üzerinde yapılmış bir dizi fizyolojik incelemenin sonuçları verilmektedir. 42 aydan fazla süren bu

incelemeler Maryland-Baltimore'daki The John Hopkins Hastanesi personelinin yardımıyla gerçekleştirilmiştir [16].

Elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın artması ile birlikte iletim hatlarının gerilim seviyeleri de artmaktadır. Yüksek gerilimlerle enerji iletiminin yaygınlaşmasıyla, güvenliği sağlayacak önlemler, alan şiddetleri, vücut akımları ve çalışma çevresi ile ilgili incelemelerde hızlanmıştır.

Bu kısımda bahsedilecek olan çalışmada da alan şiddeti ölçümleri ve yüksek gerilim hatlarının bakımında çalışan işçilerin fiziksel muayenelerinin sonuçlarına değinilecektir. Söz konusu muayenelerden ilki 1962, ikincisi 1963, üçüncüsü 1964, dördüncüsü Ağustos 1965 ve beşincisi de Mayıs 1966'da yapılmıştır.

Yüksek gerilim hatları çevresinde oluşan kuvvetli elektrik alanların etkisinde çalışan işçilerin maruz kaldığı alan şiddeti Miller'ın alan şiddeti ölçü aleti ile ölçülmüştür. Bu alet 60 Hz'de 0.39 kV/cm'lik düzgün bir elektriksel alana dik konumda yerleştirildiğinde 1 μA'lik bir akım (0.085 μA/m^2'lik bir akım yoğunluğu) ölçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bir işçi topraklanmış bir şekilde bir çelik kulenin çapraz kolunun üzerinde çalışırken, elektrik alan çizgileri vücudunun tüm yüzeyi üzerinde sonlanır ve işçinin vücudu boyunca, toprağa akan bir elektrik akımı indüklenir. Bu akımın değeri, işçiyi topraktan yalıtarak ve toprakla arasına duyarlı bir ampermetre bağlanarak ölçülür. Eğer işçi topraklanmamışsa, vücudunun bir tarafından giren yer değiştirme akımı vücudundan geçerek, toprağa kadar inen kuvvet çizgileri oluşturur. Bu durumda işçi yerden farklı bir gerilimle yüklenebilir ve topraklanmış bir cisme dokunduğunda küçük bir şok hissedebilir. Şekil 4.2'de 345 kV'luk bir hattın çelik iletim kulesinin çapraz koluna asılı bir merdiven üzerindeki topraklanmamış bir işçinin Miller'ın ölçü aleti ile elektrik alan şiddetini ölçmesi gösterilmiştir. İşçi enerjili hatta ne kadar yakınsa, okuduğu alan şiddetinin değeri o kadar büyük olur.



Şekil 4.2 345 kV'luk Bir Kafes Direk Üzerindeki Elektrik Alan Şiddetini Ölçen Topraklanmamış Hat İşçileri [16]

1837 yılında Michael Faraday, bir cismi dışarıdaki elektrik alandan korumak için, iletken bir ekranla çevrelenebileceğini göstermiştir. Bu şekilde elektrik alan çizgileri ekran üzerinde sonlanmakta ve içerideki cisim korunmaktadır. Bu nedenle, hat işçisi metal bir ekran kafes ya da iletken bir giysi kullanarak, elektrik alanından korunabilmektedir. Bu yöntem Faraday kafesi yöntemi olarak adlandırılır. İşçi, yalıtkan bir zincir vasıtasıyla iletim hattına asılı duran, dört bir yanı ve tabanı iletken bir örtüyle kaplı bir kova içerisinde çalışmaktadır. Ekran görevi gören bu iletken örtü, toprağa bağlandığında, tabandaki metal tabaka üzerinde ayakta duran işçi, belinin biraz üstüne kadar etkiyen tüm elektrik alanı kuvvet çizgilerinden korunur. Vücudun üst kısmı ise, kova kenarından 100 cm yukarıya kadar uzanan ve bir arkalık görevi gören uygun yükseklikte bir metal ekran ile kaplanmıştır. Bu arkalığın üzerine, işçinin başını koruyacak biçimde bir üst ekranda eklenebilir, buna örnek olarak gösterilebilecek ekranlı kova Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Şekil 4.3 Arkalığı ve Üst Kenarı Olan Bir Kova İçindeki Hat İşçileri [16]

4.3.2 Araştırma Yeri

Bu çalışmada alanlarla ilgili deneyler, Ohio Elektrik Şirketi'nin Doğu Lima'daki ara istasyonunda yapılmıştır. Bu istasyon ve elektrik şebekesi, 2 adet 345 kV'luk ve 6 adet 138 kV'luk enerji hattının birleşim noktasıdır. 345 kV'luk şebeke 380 x 320 feet'lik (1 foot = 30,48 cm) bir alanı kaplamaktadır. X ışını radyasyonu araştırması, elektrik alan şiddeti ölçümleri ve çeşitli koşullarda işçinin vücudundaki akımların büyüklüğünü ve dalga biçimini saptama incelemelerini kapsayan çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

4.3.3 X Işını Radyasyonu

Korona boşalmalarının yalnızca güç kayıplarına neden olmadığı, aynı zamanda insanlar için zararlı ozon ve radyasyon oluşumuna neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, Doğu Lima ara istasyonunda ve istasyon dışındaki yüksek gerilim hatlarının altındaki alanlar, bir kez serin havada (Aralık 4, 1962), bir kez de sıcak havada (Temmuz 28, 1965) incelenmiştir. Yapılan iki incelemede de X ışını radyasyonu Gayger Müller sayacı ile ölçülmüştür. Aralık ayında yapılan araştırmada gruptaki bütün kişilerin iyonlaşma maskeleri taktığı ve ayrı ayrı mühürlü paketlerde bulunan fotoğraf negatiflerini, 345 kV'luk iletim hattının bir iletkenine yerleştirdikleri belirtilmektedir. Negatifler haftalık aralıklarla alınarak radyasyon olup olmadığı incelenmiştir. İnceleme sonucunda herhangi bir radyasyon izine rastlanmamıştır.

Her iki incelemede de, ara istasyonun toprak arazisi Gayger sayacı ile incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

4 Aralık 1962	0.02 - 0.04 mR / saat
28 Temmuz 1965	0.03 - 0.05 mR / saat

345 kV'luk bir hatta bağlı kova içinde de Gayger sayacı ile bazı değerler ölçülmüş ve işçinin vücudundaki radyasyon ile topraktaki aynı bulunmuştur. Yine herhangi bir yüksek gerilim hattından uzaktaki bir otelde ölçümler yapılmış ve bulunan değerlerin ara istasyondakilerle anı olduğu saptanmıştır.

Ara istasyonda yapılan ölçümler sonucu bulunan radyasyon değerleri, herhangi bir yerdeki radyasyondan fazla değildir. Söz konusu radyasyon değerleri kozmik ışınlar ve topraktan çıkan radyoaktif gazlarla oluşmuşlardır ve zararsız seviyededirler.

Hatlarda ve aletlerin üzerinde hiçbir korona ya da ozon oluşumuna rastlanmamıştır.

4.3.4 Elektrik Alan Şiddeti

Çalışmada, hat işçisinin etkisinde kaldığı alan şiddetini ölçmek için alan ölçer kullanılmıştır. 345 kV'luk hatta bağlı yalıtılmış bir kova içinde çıplak elle çalışan bir işçinin, etkisinde kaldığı elektrik alan şiddeti değerleri Tablo 4.1'de, farklı kova ekranlama dereceleri için gösterilmiştir.

Tablo 4.1 345 kV'luk Enerjili Bir İletkene Bağlı Bir Hava Asansörü Kovasındaki Bir İşçinin Vücudundaki Elektrik Alan Şiddetleri Üzerine Farklı Kova Ekranlama Derecelerinin Etkileri [16]

Vücut Bölgesi	Tam Kova Ekranlama* (Arka Duvarı ve Üst Örtüsü)	Tam Kova Ekranlama (Arka Duvarı ve Üst Örtüsü Yok)	Yarım Kova Ekranlama** (Arka Duvarı ve üst örtüsü yok)
Başın üst Kısmı	0,4	12,0	11,0
Yüz	(alınmadı)	--	7,5
Göğüs			
Ön	1,0	4,0	2,5
Sol	1,0	5,4	--
Arka	0,0	7,0	5,0-7,0
Sağ	0,8	8,0	--
Kasık	0,0	0,0	0,5
Diz			
Ön	0,0	0,0	-
Sol	0,0	0,0	1,0
Arka	0,0	0,0	2,0
Sağ	0,0	0,0	2,5 – 4,0
Ayak	0,0	0,0	--

* Taban plakası, ön, arka ve yan ekranlar

** Taban plakası, ön, araka ve yan ekranlar yok, kova kenarında 6 inch'lik bir bant var.

Açıklanan verilerden, Faraday kafesinin kullanılmasıyla, hat işçisinin etkisinde kaldığı elektrik alan şiddetlerinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

4.3.5 Vücut Akımları

Yapılan çalışmada, direklerde ve kovalarda çalışan işçilerin vücudunda, değişken elektrik alanların indüklediği akımlar, işçilerin vücudu ile toprak arasına bağlanan bir mikroampermetre ile ölçülmüştür.

Çelik bir kule üzerinde çalışan işçilerin vücut akımlarının ölçümü, ara istasyonun biraz batısında yer alan 345 kV'luk bir hatta yapılmıştır. Ölçümlerle ilgili sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Hat İşçisinin Konumuna Göre Vücut Akımlarının Değerleri [16]

Hat İşçisinin Yeri	Vücut Akımı (μA)
Kulenin orta çapraz kolunda, yüzü üst faz iletkenine dönük olarak. ayakta duruyor	100 – 150
Kulenin üst çapraz kolundan asılı bir merdivenin orta basamağında ayakta duruyor	395
Kulenin aşağıdaki çapraz kollarından birine asılı bir merdiven üzerinde ve sıcak- çubuk kullanıyor	400*

* 25 μ A'lik sıcak-çubuk kaçak akımını da içine alır

Doğu Lima yakınındaki 138 kV'luk bir enerji iletim hattı direğinde benzer koşullar altında, çapraz kol ya da asılı merdivenler üzerinde çalışan işçilerin vücut akımları 80-125 μA olarak ölçülmüştür. Her durumda, akım değerleri, plastik eldiven kullanılsın veya kullanılmasın, aynı bulunmuştur.

345 kV'luk hatta bağlı bir kova içerisinde çalışan işçiler üzerinde yapılan akım ölçümlerinin sonuçları Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3 Farklı Kova Ekranlama Derecelerine Göre Vücuttan Akan Akım Değerleri [16]

KovaEkranlama Dereceleri	**Ellerin Yeri**	**μ A**
Tam kova ekranı; arka duvarı ve üs t ekran	Aşağı Çalışma yerinde Uzatılmış	85 130 --
Tam kova ekranlama; arka duvarı ve üst ekran yok	Aşağı Çalışma yerinde Uzatılmış	580 660 840
Yarım kova ekranı; taban ön ve arka ekranları; kova kenarlarındaki arkadaki ve üstteki tam ekranlar yok	Aşağı Çalışma yerinde Uza tıl mı ş	190 225 345

Kovanın kenarlarından arkalığına ve üst ekrana kadar ek ekranlar kullanılırsa söz konusu akımların azaltılabileceği görülmektedir. Eğer kova tümüyle ekranlanmışsa işçinin etkisinde kalacağı akımların değerinin çok düşük olacağı açıktır. Eğer arkalık ile üst ekran kaldırılırsa, alan etkisinde kalan vücut yüzeyi artacak ve akımlar yaklaşık 5 kat yükselecektir.

4.3.6 Vücut Akımının Dalga Şekli

Enerjili yüksek gerilim hattına bağlı bir kova içinde çalışan işçilerin vücudunda, değişken elektrik alanların indüklediği akımların dalga şekli, bir osiloskop ekranından fotoğrafları, çekilerek gözlenmiştir. Akımı ölçmek için kullanılan mikroampermetre'ye seri olarak 4700 Ω'luk bir karbon direnç bağlanmış, direnç üzerinde oluşan gerilim düşümü osiloskopta gözlenmiş ve şeklin fotoğrafı çekilmiştir. Osiloskop ve diğer aletler hava asansörüne konulmuştur.

Elektrik alanında çalışan işçinin vücudunda indüklenen 100 μA'lik akımın dalga şekli Şekil 4.4'de, 200 μA'lik akımınki ise Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Hiçbir şekilde korona belirtisine rastlanmamıştır. Dalgalarda görülen düzensizlikler, asansör motorunun çalışmasının yarattığı titreşimden kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.4 Hat İşçisinin Vücudundan Geçen 100 μA'lik İndükleme Akımının Dalga Şekli [16]

Şekil 4.5 Hat İşçisinin Vücudundan Geçen 200 μA'lik İndükleme Akımının Dalga Şekli [16]

Şekil 4.6 Korona Belirtisinin Görüldüğü 400 μA'lik İndükleme Akımının Dalga Şekli [16]

345 kV'luk bir hatta bağlı hava asansörü kovasındaki bir işçi, kollarını yana açıp, elini elektrik alanın içine uzattığında, parmak uçlarında korona oluşur ve yanmaya ya da iğne batışına benzer bir his duyar. Şekil 4.6'de gerilimden önde giden akım dalgasının inen eğimli kısmında, korona boşalmasının varlığı gözlenmektedir.

Değişken elektrik alanlarının şiddeti, korona oluşumunun görüldüğü değer olan 19.7 kV/cm'e erişinceye kadar elektrik şoku biçiminde bir algılamaya neden olmaz. 2,4-2,7 kV/cm değerindeki elektrik alanlar, eller üzerindeki tüylerin dikleşmesine neden olur. Bu değer, elektrik alanı hissetme düzeyi olarak adlandırılır.

4.3.7 Yüksek Gerilim Hat İşçilerinin Tıbbi Bakımdan İncelenmesi

Ohio Elektrik Şirketi ile Appalachian Elektrik Şirketi'nin (Amerikan Elektriksel Güç Şirketi) toplam 11 işçisi üzerinde tıbbi araştırmalar yapılmıştır. Söz konusu araştırmalar sırasında muayeneler, John Hopkins Hastanesi'nde, hastaneye yatırılmadan 17 Aralık 1962 ve 23 Mayıs 1966 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın başlangıcında yaş ortalaması 35 olacak şekilde, 30-47 arasındaki

yaşlarda insanlar seçilmiştir. Ohio Elektrik Şirketi'nden, 345 kV'luk hatlarda çıplak el çalışması yapmış ve bakım çalışmasında da bulunmuş 5 işçi seçilmiştir. Appalachian Elektrik Şirketi'nden ise çıplak elle çok az çalışmış ancak pek çok saat bakım çalışmasında bulunmuş 6 işçi seçilmiştir. Tablo 4.4'de araştırma süresince kaç saat çalışıldığı gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Araştırma İçin Seçilmiş İşçiler Tarafından Yapılan Enerjili Hat Bakımı [16]

	İşçiler	Klasik Bakım Yöntemi	Çıplak Elle Bakım
Ohio Elektrik Şirketi	1	200	4800
	2	200	270,1
	3	500	433,8
	4	800	746,5
	5	3800	13,0
	6	477	7,5
Appalachian Elektrik Şirketi	7	515	63,85
	8	500,5	0
	9	700	2,0
	10	493	0
	11	499,5	69,35

Muayeneler 1; 2; 2,5; 3 ve 3,5 yıllık sürelerle her işçinin tıbbi geçmişini araştırmak ve fiziksel denetimini yapmak biçiminde uygulanan programlanmış çalışmalar şeklinde yürütülmüştür. İşçilerin 10 tanesi toplam 4 muayeneden geçirilmiş, Ohio Elektrik Şirketi'nden olan 3 no'lu işçi ise çalışmaya Ocak 1965'de katıldığı için ancak 3 defa muayene olmuştur. Fiziksek muayeneler, aynı zamanda laboratuvarda sürdürülen incelemeleri de yöneten bir doktor (Dr. M.L. Singewald) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvar araştırmalarında kan kimyası (serum üre azotu, kan şekeri ve serum kolesterol, ürik asit, idrar analizi ve dışkı muayenesi) incelenmiştir. Troidin işlevi, böbreğin çalışması ve karaciğerin işlevi incelenmiştir. Her muayenede 12 elektrokardiyogram alınmış, elektroansefalogramlar kaydedilmiştir. 3 nolu işçi dışında 3.5 yıllık süre içinde her işçi üzerinde 4 ayrı kayıt alınmıştır. Bunun yanısıra işitme deneyleri yapılmış ve her muayenede göğsün ve ellerin röntgeni çekilmiştir.

4.3.8 Tıbbi İncelemenin Sonuçları

Fiziksel incelemelerde önemli bir değişime rastlanmamıştır. İşçilerin ciltlerinde, saçlarında, kardiovasküler ya da solunumsal işlevlerinde değişiklik olmamıştır. Göz muayeneleri farklı bir durum göstermemiştir.

Laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlarda önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan alanların etkisinde kalmanın doğurabileceği hiçbir hastalık durumuna rastlanmamıştır. Elektroansefalogramlar oldukça normal görünmüştür. Psikiatris çalışmayla bağlantılı olabilecek herhangi bir duygusal değişim kaydetmemiştir. Ürolojist işçilerin ikisinde sperm sayılarının az olduğunu saptamış, ancak bu durumun alan etkisinde uzun süre kalınmasıyla bir ilgisi bulunmamıştır.

4.3.9 Genel Sonuçlar

Uzmanlarin yaptiklari araştırmalarda; değişken elektrik alan şiddetinin insanlar üzerindeki etkilerinden elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir..

1. Uygun bir biçimde modellenmiş ve kurulmuş bir yüksek gerilim hattında X ışını radyasyonu görülmez.
2. Değişken elektriksel alan içinde bulunan iletken bir cisimde elektrik akımları indüklenir.
3. Çıplak elle çalışan bir hat işçisi, iletken bir yapı içerisinde korunmaz ise vücudunda indüklenen akımlar yüksek değerlere ulaşabilir.
4. Değişken bir elektrik alanın etkisinde kalmış bir kişinin vücudunda indüklenen akımların biçimi sinüsoidaldir.
5. Plastik eldiven ve benzer koruyucu aletler, elektrik alanına karşı koruyucu görevi görmezler.
6. Uygun biçimde tasarlanmış metal Faraday kafesleri, enerjili bir hatta çıplak elle çalışan işçiyi korur ve vücudunda akımları ihmal edilebilir bir düzeye indirger.
7. Faraday kafesleri, hava asansörlerinin kovaları, kafesleri v.b. için kurulabilir uygun iletken bir giyside bir Faraday kafesi gibi davranır.

8. Düşük şiddetteki elektrik alanlarda, vücudun üst kısımları için ekranlama kullanılmayabilir. Fakat işçinin önemli organlarının zarar görmemesi için belden aşağısında mutlaka ekranlama yapılmalıdır.
9. Tıbbi bulgular; gözlem süresini (3.5 yıl) ve çalışma yöntemini göz önünde bulundurarak, 11 hat işçisi üzerinde yüksek gerilim hatlarından yayılan elektrik alanların hiçbir etkisi olmadığı söylenebilir [16].

4.4 Alan Etkisinde Çalışan Kişilerin Tıbbi Denetimi

4.4.1 Giriş

Burada, elektriğin neden olabileceği bazı kazaları incelemek amacıyla yapılmış bir çalışma aktarılmıştır [17]. Elektromagnetik alanların etkisinde çalışan kişilerde psikomatik değişimlerin oluşması olasılığı üzerine yapılan araştırmaların farklı sonuçlar vermesi üzerine bu çalışma yapılmıştır. Bu konu ile ilgilenen kişileri sürekli olarak uğraştıran sorunlardan birisi, meslek hastalıkları olarak bilinen hastalıkların dışında karşılaşılan bazı hastalıkların mesleğe ilişkin hangi öğelerden kaynaklandığını bulmak olmuştur. Ayrıca, bir işçinin sağlık durumunda görülen herhangi bir değişimin yaptığı iş ile ilgili olup olmadığını saptamak da kolay olmamaktadır. Üstelik kişilerin hastalıkları ile dıştan kaynaklanan bir olay arasında ilişki bulmaya olan eğilimleri, elde edilen sonuçların doğru olarak yorumlanmasını güçleştirmektedir.

Burada kazaların ve hastalıkların olası kaynağı olarak sadece elektrik alanların etkileri incelenmiştir.

4.4.2 Uzmanlar Tarafından Yapılan İncelemeler

Elektromagnetik alanların insanlar üzerindeki etkilerinin saptanması amacı ile, alan etkisinde çalışan işçiler periyodik incelemelerden geçirilmiştir. Bu incelemeler, transformatör merkezleri ve yüksek gerilim hatlarında çalışan 84 işçiden oluşan deney grubu ile alçak gerilim hava hatlarında çalışan 94 işçinin üzerinde yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada gerilim hatlarında çalışan 76 işçinin tıbbi muayene sonuçları da yer almaktadır.

Araştırma sonuçlarının incelenmesine geçilmeden önce, transformatör merkezlerinde ve yüksek gerilim hatlarında çalışan işçilerin yaptıkları işlerin niteliğinden söz etmek yararlı olacaktır.

Transformatör Merkezi İşçileri

A- Alışılmış Görevler:

Sekizer saatlik üç vardiyanın yapıldığı günlük normal çalışma, esas olarak, arızaların gözlendiği denetim kabini içerisindeki gösterge panolarının izlenmesinden oluşur. Her saat başında bu göstergeler gözden geçirilerek, okunan değerleri ilgili deftere kaydedilir. Yükün durumuna bağlı olarak gerilimin ayarlanması için de bir uzak denetim birimi devreye sokulur. Her vardiyada ilgili işçi, transformatörlerin sıcaklığını denetlemek için dışarıya çıkar.

Sabah vardiyasında yüksek gerilim taşıyan aletlerin incelenmesi, kumanda odalarına girilerek yapılır. Transformatör merkezine 4 adet 400 kV'luk, 3 adet 220 kV'luk ve 6 adet de 138 kV'luk hat gelmektedir. Söz konusu hatların yakınında çalışan işçiler, burada en fazla on beş dakika kalır.

B- Alışılmışın Dışındaki Görevler

Bir boşalma olayı görüldüğünde (bu, yılda en fazla 13-14 kez olmaktadır) normal olarak, otomatik kapama devresi çalışır, eğer sonuç alınamazsa gerekli önlemlerin alınması için işletme dairesine haber verilir. Daha sonra kumanda odalarındaki aletlerin hangilerinin bozulduğu saptanır.

Yüksek Gerilim Hatlarında Çalışan Hat İşçileri

A- Alışılmış Görevler

Bu görevler hattın denetimi için yapılan çalışmaların bütününden oluşur. Hattın denetimi için hat işçisi tekerlekli bir araç kullanarak, ustabaşının göstereceği yerlere giderek, arabanın dışında (ayakta) en fazla 10 km uzunluğundaki hattın iletkenlerinde arıza olup olmadığını araştırır. Olağanın dışında bir durumla

karşılaşırsa kendisi hiçbir şey yapmadan ustabaşına haber verir. Bu çalışma haftada 3-4 kez tekrarlanır. Denetlenecek yerler ustabaşı tarafından belirlenir.

B- Alışılmışın Dışındaki Görevler

Bu çalışmalar, arızaların giderilmesi çalışmalarından oluşur.
İzolatörlerin değiştirilmesi,
İletkenlerdeki arızaların giderilmesi,
İşe yaramayan (kırılmış) direklerin yenilenmesi.

Bir ay içerisinde üç ya da dört arıza görülür. Onarım işleri, ustabaşı ya da idareci yönetiminde, koruma grubunun elemanlarından oluşan bir ekip tarafından yürütülmektedir.

Ana gerilim hattında çalışan işçiler, aşağıdaki hatların bakımını yapmaktadırlar. Parantez içerisindeki sayılar çalışma sürelerini belirtmektedir.

Telefon hatları (toplam çalışma süresinin %10'udur), 11 kV'luk hatlar (%5'i), 66 kV'luk hatlar (%25'i), 132 kV'luk hatlar (%25'i), 220 kV'luk hatlar (%20'i), 400 kV'luk hatlar (%15'i).

4.4.3 ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Bu bölümde elde edilen bulguların ayrıntılı olarak incelenmesi, birbirleriyle olan ilgilerinin saptanması yer almaktadır. Bu bulgular dört yıllık bir döneme ilişkindir. Sözkonusu bulgular aşağıdaki plana göre yapılan bir incelemenin sonucunda elde edilmiştir.

- ✓ İşçi tarafından yanıtlanmak üzere, onun kalıtımsal ve kişisel geçmişi, beslenme alışkanlıkları, sigara ve içki kullanıp kullanmadığı, hareketlilik derecesi, kalıtımsal ve kişisel olarak şişmanlık eğilimi, fiziksel gücü, kalp ve beyin gibi organları bakımından atardamar yetmezliği gibi konulara ilişkin bir dizi soru hazırlamak,
- ✓ Doktor tarafından kaydedilen amnezler,
- ✓ Klinik incelemeleri; vücut ölçüleri, ağırlık, gerçek yaşını ne ölçüde gösterdiği, atardamar atışı, osilometrik endeks, v.b.
- ✓ Gözün ağ tabakasının incelenmesi,

- ✓ Elektrokardiyografik inceleme,
- ✓ Biyolojik inceleme; glikoz, kolesterol, trigliseridler, üre, kandaki ürik asit,
- ✓ Kanla ve idrarla ilgili muayeneler.

Ana Gerilim Hatları ve Transformatör Merkezleri

A- Periyodik İncelemelerde Kaydedilen Değişiklikler

Tablo 4.5 Periyodik İncelemelerde Kaydedilen Değişiklikler [17]

Lökomotör Sistemde	% 27,9
Sindirim Sisteminde	% 25,0
Sinir Sisteminde	% 16,7
Kulak-Burun-Boğaz	% 13,1
Dolaşım Sisteminde	% 11,9
Solunum Sisteminde	% 10,7
Oftalmolojide	% 4,5
Genito-Üriter Sistem	% 3,6
Dermotolojide	% 2,3
Endokrin Sistemde	% 0,8

Not: Tablonun sağ tarafında yer alan sayılar, adı geçen değişikliklerin gözlendiği işçi sayısının incelemeye katılan toplam işçi sayısına oranını yüzde olarak vermektedir.

Kan çözümlenmesine ait sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir. Sayılar incelenen gruba ilişkin ortalamalardır. 84 kişilik grubun yaş ortalaması 47,27 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.6 Kan Çözümlenmesi Sonuçları [17]

ÜRE	% 27,2 mg
GLİKOZ	% 94,5 mg
ÜRİK ASİT	% 4,7 mg
KOLESTEROL	% 225,0 mg
TRİGLİSERİDLER	% 154,6 mg

B- Hastalık Neden Gösterilerek Görevden Uzak Kalış

İnceleme grubuna ait, Tablo 4.7'de hastalık sebebi ile görevden ayrı kalınan zamanların istatistiki verileri gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Hastalık Sebebiyle Görevden Uzak Kalış [17]

Hastalanıp İzin Alanların Sayısı (Kişi Sayısı)	121
Kaybedilen Süre (Gün Olarak)	2541
Ortalama Sıklık (Gün Olarak)	35,12

C- Hastalık Nedeniyle İzin Alanların Rahatsızlıklarına Göre Dağılımları

İnceleme grubuna ait, Tablo 4.8'de hastalık sebebi ile görevden ayrılanların, hastalıklarına göre dağılımları gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Hastalık Sebebiyle İzin Alanların Rahatsızlıklarına Göre Dağılımları [17]

Bronşit – Grip	% 41,1
Sindirim Sistemi Hastalıkları	% 16,3
Lökomotör Sistem Hastalıkları	% 19,4
Otorinolojik Hastalıklar	% 9,7
Genito – Üriner Sistem	% 6,9
Sinir Sistemi Hastalıkları	% 2,5
Cilt Hastalıkları	% 0,8
Göz Hastalıkları	% 0,8
Adlandırılamayan Teşhisler	% 2,5

Alçak Gerilim Hatları, Elektrik Ölçme Aletleri ve Arızaları

A- Periyodik İncelemelerde Kaydedilen Değişiklikler

Tablo 4.9 Alçak Gerilim Hat İşçileri Üzerinde Periyodik İncelemelerde Kaydedilen Değişiklikler [17]

Lökomotör Sistemde	% 14,8
Sindirim Sisteminde	% 20,8
Sinir Sisteminde	% 11,1
Kulak-Burun-Boğaz	% 19,9
Dolaşım Sisteminde	% 11,1
Solunum Sisteminde	% 11,1
Oftalmolojide	% 3,7
Genito-Üriter Sistem	% 4,4
Dermotolojide	% 1,8
Endokrin Sistemde	% 1,8

Not: Tablonun sağ tarafında yer alan sayılar, adı geçen değişikliklerin gözlendiği işçi sayısının incelemeye katılan toplam işçi sayısına oranını yüzde olarak vermektedir.

Tablo 4.10 Kan Çözümlenmesi (Sayılar incelenen gruba ilişkin ortalamalardır.) [17]

ÜRE	% 26,5 mg
GLİKOZ	% 96,0 mg
ÜRİK ASİT	% 4,7 mg
KOLESTEROL	% 220,0 mg
TRİGLİSERİDLER	% 148,4 mg

94 Kişilik Grubun Yaş Ortalaması 43,78 olarak tespit edilmiştir.

B- Hastalık Neden Gösterilerek Görevden Uzak Kalış

Tablo 4.11 İzinli Geçirilen Süre [17]

Hastalanıp İzin Alanların Sayısı	177
Kaybedilen Süre (gün olarak)	3881
Ortalama Sıklık	47,07

C- Hastalık Nedeniyle İzin Alanların Rahatsızlıklarına Göre Sınıflandırılması

Tablo 4.12 Hastalık Sebepleriyle İzinli Geçirilen Sürelerin Dağılımları [17]

Bronşit – Grip	% 45,5
Sindirim Sistemi Hastalıkları	% 11,4
Lökomotör Sistem Hastalıkları	% 17,1
Otorinolojik Hastalıklar	% 14,2
Genito – Üriner Sistem	% 3,4
Dolaşım Sistemi Hastalıkları	% 4,5
Cilt Hastalıkları	% 1,1
Göz Hastalıkları	% 1,1
Adlandırılamayan Teşhisler	% 1,7

4.4.4 Değerlendirme

a) İncelemenin Sonuçları

Gözlenen düzensizliklerin yüzdesi, birinci grupta daha yüksek bulunmuştur. Bu grubun yaş ortalamasının ikinci gruptan 3,5 yıl daha fazla olması ve aşağıda sayılan nedenler bu farklılığı açıklayabilir. Aşağıdaki üç sistemde de, birinci gruptaki kişiler için oldukça yüksek düzensizlik oranı görülmüştür.

Sindirim Sistemi

Beslenme alışkanlıkları hem zamanlama hem de yiyeceklerin cinsi açısından bir gruptan diğerine farklılık göstermektedir. Birinci grupta,, ana gerilim hattında çalışan işçilerden bir kısmı ara sıra piknik tipi soğuk yiyecekleri tercih etmişlerdir. İkinci gruptaki işçilerin hemen hepsi, yiyeceklerini evde ya da ev yemeklerine benzer yemeklerin bulunacağı yerlerde yemektedirler.

Lökomotör Sistem

Kaydedilmiş düzensizliklerin hemen hepsi romatizma cinsinden rahatsızlıklardır. Ana gerilim hatlarında çalışan işçiler, diğer gruptakilere göre daha soğuk ve nemli ortamlarda bulunmaktadırlar.

Sinir Sistemi

En fazla görülen rahatsızlıklar baş ağrıları olmuştur. Bu ağrıların yapılan iş ile ilgili olup olmadığını saptamak için yapılan araştırmaların sürdürülmesi gerekmektedir. Biyokimyasal incelemelerin sonucunda önemli sayılabilecek farklılıklara rastlanmamıştır.

b) Hastalık Neden Gösterilerek Görevden Uzak Kalma

İncelemelere ve görevden uzak kalış sıklığına ilişkin sayılar arasında bir çelişki varmış gibi görünmektedir; birinci grupta daha fazla rahatsızlık kanıtlarına fakat daha az hastalık nedeniyle izne çıkma olaylarına rastlanmaktadır. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir; ana gerilim hatlarında çalışan işçiler bedensel olarak daha kuvvetlidirler, bu yaptıkları işin gereğidir. Hastalık nedeniyle izne ayrılmalar hatlarda çalışan işçilerde, sürekli olarak istasyonda çalışan işçilere göre daha az sayıdadır.

4.4.5 Sonuçlar

Bu araştırmada yer alan verilerden, elektromagnetik alanların işçiler üzerinde uzun süreli patalojik etkilerinin olmadığı sonucu çıkarılabilir. Ancak, işçilerin alan etkisinde kalma sürelerinin, özellikle çok yüksek gerilimler söz konusu olduğunda (400 kV), oldukça kısa olduğunu unutmamak gerekir.

Burada incelenmesi gereken sorunun, baş ağrılarının yapılan iş ile ilgisinin olup olmadığının saptanması olduğu görülmektedir [17].

4.5 Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri

İnsanlar doğada var olan iç ve dış magnetik alan yanında kendi ürettikleri; cep telefonları, elektrikli ev cihazları ve yüksek gerilim hatları gibi magnetik alan

kirliliği etkisi altındadırlar. Magnetik alan oluşturan cihazlar hayatımızın bir parçası haline gelmiş bulunmaktadır. Bununla birlikte, bunların olası zararlarını bildiğimizde kısmen de olsa önlemlerimizi almaya çalışmamız gerekecektir. Magnetik alan kirliliği gözle görülemeyişi ve etkisinin çoğu zaman doğrudan hissedilemeyişi ve uzun zaman sonra birikerek görülmesi insanlar tarafından yeterince önemsenmemektedir. Magnetik alan kirliliğinin kaynakları tespit edilerek önlenmesi için gerekli tedbirlerin alınması kaçınılmazdır. Hava, gürültü gibi kirlilikler yanında mutlaka magnetik kirlilik de beraber söylenerek toplumun duyarlılığı arttırılmalıdır [18].

Uzaya gönderilen astronotlarda görülen ve haftalarca sürebilen yorgunluk, adale ağrısı, baş ağrısı ve dönmesi nedeni ilk yıllarda anlaşılamamıştı. Daha sonraki yıllarda sürdürülen kapsamlı araştırmalar sonucu bu belirtilerin dünyanın magnetik alanının eksikliğinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Biyomagnetoloji ilkelerine göre, tüm maddeler dolayısıyla tüm canlılar, zayıf ya da güçlü birer magnetik özelliğe sahiptirler. Her mekanda dolayısıyla tüm canlıların içindeki ve dışındaki tüm boşluklarda yüksek ya da düşük birer magnetik alan mevcuttur. İnsan vücudu aslında her hücrenin kendine özgü elektrik devresi olduğu bir elektromagnetik makinedir. İnsan vücudundaki magnetik alan, biyoelektrik yüklerinin hareketinden meydana gelir. Biot – Savart Teorisine göre, hareketli elektrik yükleri magnetik alan oluşturur. Biyoelektrik oluşan herhangi bir bölgede mutlaka magnetik alan vardır. Dolayısıyla kalp, adale, sinir ve beyin gibi organlar belli bir magnetik alana sahiptir. İnsanı oluşturan maddelerin birbiriyle haberleşmek için kullandıkları magnetik alanın sinyalleri birbiriyle uyum içindedir. Bu sinyaller dünya magnetik alanı ile de uyum içindedir.

İnsanın kendi iç magnetik alanı ile dünyanın oluşturduğu magnetik alan arasındaki uyumluluk çeşitli nedenlerden dolayı bozulabilmektedir. Bunun bir nedeni de insanın yaşadığı yerin magnetik alanının büyüklüğüdür. Yer kabuğunun doğal bir manyetizması vardır. Bütün alanlar üç değişken içerir; frekans, spinin yönü, spinin büyüklüğü veya gücüdür. Bu üç değişken insan vücuduna uyduğunda vücut kendi enerjisini destekler. Bu magnetik etkileşim hücre zarlarında madde alışverişlerini mümkün kılar. Böylece bir fabrika gibi çalışan hücrenin, atık maddeleri ve toksinleri bünyesinden uzaklaştırarak su, besin maddeleri, oksijen ve gerekli mineralleri alarak işlevinin uygun bir seyirde ve canlılık içinde sürdürmesi mümkün olmaktadır. Sara

hastaları üzerinde yapılan bir deneyde de dışarıdan, deneklerin magnetik alanının değiştirilmesi durumunda, beyindeki biyoelektrik faaliyetin, dolayısıyla snapsların kirlenmesi sağlanarak hastalık durumundaki etkileri aynen oluşturulmuştur.

Geceleyin dünya magnetik alanı hücresel oksijeni arttırır, uykuyu destekler, biyolojik iyileşmeyi desteklerken iltihaplanmayı azaltır, acıyı dindirir. Ama güneş doğduğunda beraberinde getirdiği pozitif magnetik alanı hücresel oksijeni azaltır, uyanıklığı destekler, biyolojik iyileşmeye engel olur ve acıyı arttırır. Kafamızın merkezde bulunan hormonları, enzimleri ve bağışıklık fonksiyonları yöneten pineal bezi magnetik kristallerden oluşan bir magnetik organdır. Magnetik enerjiye çok duyarlı olup ona has madde olan melatonin hormonu, geceleyin dünya magnetik alanı etkin olduğu zaman ortaya çıkar. İyi uyku için melatonin seviyesinin yüksek olması gerekir. Büyüme hormonu melatonin seviyesi ile ilişkilidir. İnsan yaşlandıkça bu asıl hormonları daha az üretmeye başlar. Büyüme hormonu saç, cilt (deri) ve adaleleri kontrol altında tutar.

Multiple Sclerosis (MS) hastalığını başlatan sebeplerden biri dünya magnetik alanıdır. Dünya magnetik alanının haritası incelendiğinde alanın yapısı ile MS hasta sayısı arasında kuvvetli ilişki bulunmuştur. Magnetik alanın düşey bileşeni biyolojik maddeleri etkiler. MS hastalığına yakalananların sayısı 60 (°E) boylam civarında en yüksek değere ulaşırken Orta Asya, Hindistan, Çin, Japon, Afrika ülkeleri, Orta Amerika gibi ekvatora yakın yerlerde vaka sayısı yok denecek kadar azdır. Düşey magnetik alanı bileşeni kutuplara yakın yerde hemen hemen yoktur ve MS hastalığına düşey bileşenin zayıf olduğu bölgelerde çok sık rastlanır. Başka bir araştırmada çocukların büyümesinin dünya magnetik alanın güneş aktivitesine göre değişmesine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

İnsan vücudunun magnetik alanla olan dengesini bozan etkenlerden birisi de kimyasal kirleticiler, haberleşme frekansları, elektrik güç taşımalarından gelen sinyallerle çevrenin kirlenmesiyle ortaya çıkar. Toksik madde radyasyon gibi kirleticilerden gelen sinyaller canlının elektromagnetik dengesini bozmaktadır. Araştırmacıların insan tarafından yapılan elektromagnetik kirlilik veya smog olarak bilinen elektromagnetik alanın birikimli olduğunu ve genel keyifsizlik, boyunda sertlik, göğüs acısı, hafıza kaybı, baş ağrısı, kalp atışında ve kan kimyasında değişime uğratma, sindirim ve dolaşım sorunları oluşturabilmektedir. Elektrosmog

adı verilen teknolojinin beraberinde getirdiği elektromagnetik kirlenme, insan sağlığını tehdit eden ciddi unsurlardan birisidir. Yüksek gerilim hatlarından cep telefonu dalgalarına, radyo ve TV dalgalarından ev ve iş yerlerindeki bilgisayar ve elektrikli diğer eşyaların yaydığı elektromagnetik dalgalara kadar maruz kalınan elektromagnetik kirlilik sosyal yaşam ortamında hemen hemen her yerde sağlıksız bir atmosfer oluşturmaktadır. Elektromagnetik smog beyinden hücrelere gönderilen sinyalleri engelleyerek vücudun bağışıklık sistemine zarar verir. Son yıllarda büyük çapta araştırmalar yapılmasına neden olan bir etki ise insan yapımlı kuvvetli magnetik alan kaynağından doğan hastalıklardır. Kuvvetli mıknatıslar Hall etkisinden dolayı, anestesia oluşturuyor. Tunaya'nın araştırmalarına göre yüksek gerilim hatlarının çocuklarda lösemi ya da beyin kanseri yaptığı bilinen bir gerçektir. 1988'de ve 1991'de yine ABD'de, 1992'de İsveç ve Meksika'da ve 1993'de Danimarka'da yapılan araştırmalarda çocuklarda görülen kanserlerle ve özellikle de lösemiyle iletim hatlarına yakın yaşama arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

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

Cep telefonu alzheimer, parkinson ve multiple sclerosis (MS) gibi sinir hastalıklarının oluşma riskini arttırıyor. Kulaklık-mikrofon seti kullananların %80'inde bu tip sorunların olmadığı gözlenmiştir. Bu tip elektromagnetik alanların genelde iki etkisinden bahsedilir. Birisi ısı etkisidir. Çünkü yaydığı enerji, insan vücudundan geçerken bir miktar emilir, tutulur ve içerde bir ısı birikimi oluşur. Bu ısı istenmeyen sonuçlara sebep olabilir. İkincinin etkisi ise canlı organizma içindeki birbirine bağlanmış olan molekülleri, atomları etkiler ve bozar. Organizma kendini tamir eder, düzeltir. Ama bir an kontrolden çıkabilir. Kontrolden çıktığında ise basit bir iki hücrenin ölümüne veya kanser gibi ölümcül bir hastalığa neden olabileceğinden şüphelenilmektedir. Ortalamadan yüksek magnetik alanı olan bölgede yaşayan çocukların kanser olma olasılığının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Birkaç araştırmada ortalama değerden yüksek magnetik alanın bulunduğu bölgede uzun süre kalan hamile kadınlarda zor doğum yaptıkları gözlenmiştir.

Yüksek magnetik alanın, anne adaylarının düşük yapma olasılıklarını 3 kat artırdığı vurgulanmıştır.

1994'te ve 1998'de ABD ve Finlandiya'da yapılan araştırmalarda; elektromagnetik alanların çok sık etkisinde kalan (radyo operatörleri, endüstriyel donanım işçileri, veri işleme aygıtı tamircileri, telefon hattı işçileri, elektrik santralleri ve trafo merkezlerinde çalışan) işçilerde alzheimer hastalığının normal insanlara göre erkeklerde 4-9 kat kadınlarda 3-4 kat daha çok görüldüğü, enerji iletim hatlarına 40 m'den daha yakın yaşayan çocukların, normal çocuklara göre 2-3 kat daha fazla kansere yakalandığı, Finlandiya'da yapılan bir başka araştırma erkek çocukların merkezi sinir sisteminde oluşan tümörlerle iletim hatları arasındaki ilişkinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Zayıf magnetik alanın insan sağlığına zararlı olup olmadığı hala tartışılıyor. Bu zayıf alanların hemen gözle görülür zararları yoktur. Fakat hayvan hücresi üzerinde yapılan deneylerde zayıf magnetik alanın hormon ve enzim seviyesini değiştirmek, dokulardaki kimyasalların hareketini engelleme gibi biyolojik etkenlere sebep olduğu kararına varılmıştır.

Bu bölümde, elektromagnetik alanların biyolojik etkilerinden bahsedilerek, çevremizdeki elektromagnetik alanların üzerimizdeki etkileri incelenecektir.

4.5.1 Hücreler Üzerine Etkileri

1993 yılında İngiltere'de Elektrik Mühendisleri Enstitüsünün Sağlık ve Koruma Komitesi, düşük seviyede elektromagnetik alanların, biyolojik etkileri üzerine yapılmış çalışmaların sonuçlarını içeren bir rapor yayınlanmıştır [20].

Raporda elektromagnetik alanların hücreler üzerine etkilerinin incelenmesi amacıyla 50'den fazla çalışma yapıldığı belirtilmektedir.

Çalışmalarda farklı biyolojik modeller kullanılmıştır. En çok kullanılan model (12 çalışmada kullanılmıştır.) vücudun savunmasında büyük rol oynayan, kandaki beyaz hücrelerdir. 12 çalışmada da bu hücreler üzerine farklı elektromagnetik alanlar uygulanmıştır. Alan değeri, 30 mT'nın üzerinde değişmektedir. Frekanslar 3 ile 60 Hz arasında, uygulama süresi ise dakikadan haftaya değişim göstermektedir. Farklı değerde alanların uygulanmasından dolayı

sonuçların birleştirilmesi mümkün olmamıştır. Genetik değişimler çalışmalar arasında farklılık göstermiştir. Çalışmalardan bazılarında hücrelerdeki büyüme oranının alan etkisiyle düştüğü, bazılarında ise değişmediği saptanmıştır. Kalsiyum konsantrasyonu da bazılarında düşmüş, bazılarında sabit kalmıştır. Bazı biyolojik parametreler ortak alındığı halde herhangi iki çalışmada benzer değişimler gözlenmemiştir.

Genetik olaylarda birçok çalışmada yükselmeler görülmüştür. Ancak bu ortak bir sonuç olarak nitelendirilememektedir. Hücre büyümesini kontrol eden genlerde değişim gözlenmiştir. Bu önemli bir bulgu olarak tanımlanmaktadır. Diğer bazı çalışmalarda ise bu genlerin etkilenmediği gözlenmiştir.

Enzim aktiviteleri üzerine yapılan araştırmaların hepsinde değişim gözlenmiş, ancak bu etkinin uyarıcı mı yoksa engelleyici mi olduğu konusunda ortak bir sonuca varılamamıştır.

Bir çalışmada, düşük seviyedeki elektromagnetik alanların, akciğer kanseri hücrelerinin büyümesini engelleyen hormonun faaliyetlerini yavaşlattığı raporlanmıştır.

Hücreler üzerine yapılan araştırmaların sonuçlarının farklı olmasının, farklı modeller kullanılması ve inceleme alanının zor olmasından kaynaklandığı belirtilmektedir [19].

Uluslararası Radyasyondan Korunma Şirketi (IRPA), elektromagnetik alanlar üzerine yayınladığı bir rehberde hücreler üzerine yapılmış çalışmaların sonuçlarına da değinmiştir [20]. Elektromagnetik alanların, genlerin kopyalama işlemini bozduğu ve hücrelerdeki proteinin iletiminde değişmelere neden olduğu belirtilmektedir. Bu değişimlerin, normal olmayan hücre fonksiyonlarına, hücre büyümelerinde düşüşlere ve düzensiz büyümelere yol açtığı belirtilmektedir. Büyümedeki söz konusu düzensizlik de kanser oluşumunda rol oynamaktadır.

1997 yılında Amerika'da yayınlanan bir araştırmanın sonuçlarında, elektromagnetik alanların enzim aktivitelerinde değişimlere neden olduğu ve sinyal iletişimini etkilediği açıklanmıştır. Enzim içindeki hareketli parçaların elektromagnetik sinyallerden etkilendiği, magnetik alanların sinyal iletişimini

hızlandırdığı, elektrik alanın ise enzim aktivitelerinin seviyesine göre ya hızlandırdığı ya da engellediği belirtilmektedir.

DNA yapısı içinde elektromagnetik alanların etkisiyle normalin tersinde akımlar indüklendiği ve bunun da yapısal bozulmalara sebep olabileceği bildirilmektedir [21].

California Üniversitesi'nde bir profesörün yayınlamış olduğu bir makalede, elektromagnetik radyasyonun, kalsiyum iyonlarının hücre içindeki hareketini etkileyebileceği, enzim sisteminin aktivitesini ve DNA yapısını bozabileceği belirtilmiştir [16]. Aşırı derecede düşük frekanslı elektromagnetik alanların hücre zarındaki fonksiyonları engelleyebileceği ya da iyonlarla birlikte hücre zarından geçebileceği açıklanmıştır. Kalsiyum iyonlarının konsantrasyonunun etkilenmesinin de hücre büyümesinde bozukluklar yaratabileceğine değinilmiştir. Magnetik alanın bu etkilerinin kanser gelişimini arttırdığı da belirtilmektedir.

1994 yılında Amerika da yayınlanmış bir makalede elektromagnetik alanların hücreler üzerine etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılan laboratuar çalışmalarına değinilmiştir. Çalışmalarda elektromagnetik sinyallerin moleküler seviyedeki rolü araştırılmıştır. Yapılan incelemelerin sonucunda elektromagnetik alanları kromozomlara zarar vererek, vücudun genetik yapısını etkilediği saplanmıştır.

Elektromagnetik alanlar, hücreler arasındaki elektriksel sinyallere ve kimyasal akışa zarar vermektedir. Bilim adamları, elektromagnetik alanların vücudun bağışıklık sistemine etkisi olduğu konusunda hemfikirdirler. Hücreler arası iletişim zarar gördüğü için kanser riski artmaktadır.

Araştırmacılar, enzim aktivitelerinin düşmesinden dolayı, hücrelerin büyüme düzeninin etkilendiğini saplamışlardır [23].

1997 yılında İtalya da yapılan bir kongredeki konuşmada (Vaughan, Weaver), elektromagnetik alanların moleküler yapıda etkisi olup olmadığına değinilmiştir. Vücut içerisinde magnetik alan geçişi ya da lokal etkileşim sırasında hücre zarına yapışan magnetik taneciklerin zarda delinmelere olabileceği belirtilmiştir. Hücre zarını normalde dışarıda tuttuğu bazı moleküllerin oluşan bu delikten hücre içine girebileceği ve biyokimyasal etkileşimler olabileceği bildirilmiştir. Büyük değerde

magnetik alanların moleküler değişiklere neden olabileceği sonucu çıkarılmıştır. Hücre zarında delinmelere neden olabilecek alan değerinin 10^{-3} T'dan büyük, etkileşim süresinin ise 10^{-5} s ile 0,1 s arasında olduğu belirtilmiştir [24].

4.5.2 Sinir Sistemi Üzerine Etkileri

İnsan vücudunun ana kontrol sistemi olan sinir sistemi, sinirden, bağlardan ve beyinden oluşmaktadır. Elektromagnetik alanların bu sistem üzerinde etkisi iki şekilde olabilmektedir. Bunlardan ilki, direk sinir sisteminin fonksiyonunu veya özelliklerini yani elektriksel, biyokimyasal ya da dokusal karakteristiklerini etkilemek, ikinci ise sinir sistemi tarafından kontrol edilen vücut sistemlerini ve organlarını etkilemektedir (dolaylı etki).

Bu kısımda elektromagnetik alanların direk sinir sistemi üzerine etkilerinden bahsedilecektir. Dolaylı etkileri daha sonraki kısımlarda açıklanacaktır.

Elektromagnetik alaların sinir sistemi üzerine etkilerini incelenmesi amacıyla yapılan bir çok araştırmada, düşük frekanslı alanların, etkisinde kalan insanların tepki sürelerinde değişimler gözlenmiştir.

Friedman, kadın ve erkeklerden oluşan, iki ayrı grup üzerinde yaptığı bir araştırmada, deneklere 0,1 ve 0,2 Hz frekansında alanlar uygulamıştır. Araştırma sonucunda, her iki grup için de yüksek frekansta tepki sürelerinin daha uzun olduğunu saptamıştır.

Aynı şekilde, erkek ve kadınlardan oluşan iki grup üzerinde inceleme yapan Persinger, 3-10 Hz de ve 0,3-30 V/m alan etkisinde tepki sürelerinde değişiklik gözlemlenmemiş, ancak uygulanan alanlara cevapların cinsiyete göre farklılık gösterdiğini saptamıştır.

Amerikalı bilim adamı Allen Frey, elektromagnetik alanların sinir sistemi üzerine etkilerini incelemek amacıyla yaptığı çalışmasında, hafıza ve işitme işlevleri üzerine yoğunlaşmıştır. Frey, 1,2 GHz de 2400 $\mu W/cm^2$ (sürekli) ya da 200 $\mu W/cm^2$ (ani) alan maruziyetlerinde beynindeki kan bariyerlerinin geçirgenliğinde yükselme saptamıştır.

Frey'in bulguları, 1977 yılında Oscar ve Hawkings'in yaptığı araştırmanın sonucunda doğrulanmıştır. Söz konusu araştırmada, 30 $\mu W/cm^2$'lik bir güçte, beyindeki dokuların geçirgenliğinin arttığı raporlanmıştır.

Biyokimyasal çalışmalarda, beyin dokularında indüklenen elektromagnetik alanların, geniş frekans aralığında, benzer sonuçlar gösterdiği saptanmıştır.

Noval, 10-100 V/m elektrik alan etkisinde, beyin sinirlerindeki enzim transferinde düşüş olduğunu saptamıştır.

Elektromagnetik alanların, sinir sistemi üzerinde değişik alanlarda etkileri olmaktadır. Örneğin; beyinin özel bölgesindeki elektriksel olaylarda, enzimlerde ya da hafızada değişiklik gibi farklı etkileri saptanmıştır. Elektromagnetik alanların raporlanmış en önemli karakteristik etkisi, etkilediği alanın enerjisini artırmasıdır. Bu artış iyonlaşmaya, ısınmaya ya da doku zarlarında bozulmaya neden olmaktadır.

Yapılan çalışmalarda, sinir sistemi parametrelerinin ölçüldüğü koşullar, birbirinden farklı olduğu için sonuçlarının genellemesi oldukça zor olmaktadır.

Çalışmalardan çıkartılabilecek ortak bir sonuç, elektromagnetik alanların, sinir sisteminde, elektriksel, biyokimyasal, fonksiyonel ve patolojik değişimlere neden olduğudur.

Elektromagnetik alanların etkilerinin ortaya çıkmasında, alana maruz kalınan süre de önemlidir. Genelde biyolojik etkiler frekanstan ve alan tipinden bağımsız olduğu halde sinyal karakteristikleri gözlenen etkilerinin gelişiminde önemli olabilmektedir [23].

4.5.3 Endokrin Sistemi Üzerine Etkileri

Endokrin sistemi, hormonların üretildiği keseleri içerir. Bu sistemin temel işlevi, her bir hormonun üretimini düzenlemek ve belirli bir seviyede kalmasını sağlamaktır. Örneğin paratroid kesesi, kandaki kalsiyum seviyesini düzenler ve bu yolla sinir sisteminin uyarılma seviyesini kontrol eder.

Troid, paratroid ve pankreas keseleri, özel fonksiyonu olan hormonları üretirler. Troid hormonu, oksidasyon metabolizmasını düzenler. Pankreastaki

hormon glikoz metabolizmasını destekler. Adrenal kese ise organizmanın savaşma metabolizmasını destekler ve sinir sistemine bağlıdır.

Elektromagnetik alanların endokrin sistemi ile etkileşimi oldukça kompleks bir durumdur.

Vücuttaki adrenalin üretimi elektromagnetik alanlardan etkilenebilmektedir. Olabilecek bu etkinin derecesi pek çok faktöre bağlıdır. Söz konusu faktörler; alanın frekansı, alanının büyüklüğü, alan etkinde kalma süresi ve alanın sürekli veya anlık olmasıdır. Adrenalin elektromagnetik alanlardan bilinen stres kaynakları gibi etkilenebilir. Bu durumda elektromagnetik alanlar, biyolojik kaynaklar olarak nitelendirilebilir [23].

Elektromagnetik alanlar, kanserli hücrelerin büyümesini yavaşlattığı laboratuar çalışmaları ile saptanmış melatonin hormonunun salgılanmasını azaltmaktadır. Beyindeki bir bölüm tarafından salgılanan melatonin hormonu özellikle geceleri üretilmektedir. 1980'lerde yapılan araştırmalarda 60 Hz frekansındaki elektromagnetik alanların, geceleri melatonin seviyesini düşürdüğü saptanmıştır [26].

Elektromagnetik alanların, endokrin sistemi üzerine etkilerini incelemek amacıyla, bu güne kadar yapılmış çalışmalar hayvanlar üzerinde yoğunlaşmış ve insanlarda bağlantılı kesin sonuçlar elde edilememiştir.

4.5.4 Kardiyovasküler Sistem Üzerine Etkileri

Kardiyovasküler sistem; kalp ve kanı vücudun dokularına taşıyan damarlardan oluşur. Elektromagnetik alanların uygulanması ile damarların direncinin etkilenmesi ya da kalpteki elektriksel sistemin etkilenmesi sonucu kalbin fonksiyonu direkt etkilenebilmektedir. Aynı şekilde kan basıncındaki olabilecek değişiklikler dolaylı olarak kalbin fonksiyonunun etkilemektedir.

Elektromagnetik alanlarının, dokulara ya da kanın birleşimini düzenleyen sistemlere olası etkileri kanıda etkileyebilmektedir.

Elektromagnetik alanların kardiyovasküler sistem üzerine etkileri, fizyolojik rezerv kapasitesini düşürmek ve kan basıncında düzensizlik şeklinde

görülebilmektedir. Kalp hareketinin elektromagnetik alanlara karşı farklı bir hassasiyeti vardır. 60 Hz frekansında 50 V/m değerindeki elektrik alan etkisinde 15 dakikadan fazla kalındığında kalp atışında düşüş görülebilmektedir. Ancak düşük frekanslı alanlar etkisinde yapılan çalışmalarla, yüksek frekanslı alanlar etkisinde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar görülmüştür [25].

4.5.5 Alzheimer Hastalığı Üzerine Etkileri

1996 yılında yayınlanan bir makalede, elektromagnetik alanlar ile beyinde oluşan bir hastalık olan Alzheimer hastalığı arasında olabilecek bir ilişkinin incelenmesi amacıyla yapılan bir araştırmadan bahsedilmiştir.

Söz konusu araştırma, Alzheimer hastaları tedavi merkezinden seçilen ve 86 erkek, 240 kadın hastadan bir grup ile 76 erkek, 76 kadından oluşan bir kontrol grubu üzerinde yapılmıştır. Denekler, maksimum 65 yaşında olacak şekilde belirlenmiştir. İncelemeler sonucunda, her iki grup için ortak bağıl risk 3,93 erkeklerin bağıl riski 4,90 ve kadınların bağıl riski 3,40 bulunmuştur.

Araştırma sonuçları, elektromagnetik alanların Alzheimer hastalığı üzerine, daha önceleri ileri sürülmüş hipotezleri desteklemiştir.

Yine aynı yılda yayınlanan başka bir makalede, epidemiyolojik çalışmaların sonuçlarında, düşük frekanslı elektromagnetik alanların etkisinde çalışan işçilerde Alzheimer hastalığı riskinin yüksek olduğunun saptandığından bahsedilmektedir.

Elektromagnetik alanların hücreler arası kalsiyum konsantrasyonunun etkileyerek, kan içinde bulunan amiloid proteninin üretimini artırdığı ve bu proteinin beyin–kan bariyerlerini aşarak Alzheimer hastalığına neden olduğu belirtilmektedir [27].

Finlandiya ve Los Angeles da bu konuda yapılan üç ayrı çalışma sonucunda elektromagnetik alanlara maruz kalan insanlar arasında, Alzheimer hastalığına yakalanma riskinin yükseldiği saptanmıştır. Çalışma sonuçları, 1994 yılında gerçekleştirilen 4. Uluslararası Alzheimer hastalığı konferansında açıklanmıştır. Güney California üniversitesinden Dr. Eugene Sobel ve Kuopro üniversitesinden bir grupla yapılan iki çalışma, 386 Alzheimer hastası ve 475 sağlıklı denek üzerinde yürütülmüştür. Sobel, yüksek değerde alanlara maruz kalan insanların diğer insanlara

nispeten yaklaşık 3 kat fazla risk taşıdıkları saptanmıştır. Söz konusu üç çalışmadaki bağıl riskler 2,9 -3,1 ve 3,0 bulunmuştur.

Yüksek alan maruziyeti, endüstriyel dikiş makinelerini kullanan insanlarda görülmüştür. Bu sebeple Alzheimer hastalığı riskinin terziler arasında daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Alzheimer hastalığı, Amerika da her yıl yaşları 65'in üzerindeki milyonlarca insanı etkilemektedir. Bu hastalığın karakteristik belirtileri; hafıza kaybı, anlama bozukluğu ve vücut fonksiyonlarında dengesizliktir.

Sobel'in yardımcılarından nörolojist Zorek, elektromagnetik alanların, sinir hücrelerindeki kalsiyum iyonlarının seviyesini yükseltip sinir hücrelerinin ölümüne yol açarak Alzheimer hastalığına neden olduğu ileri sürülmüştür [14].

4.6 Elektromagnetik Alanların Kanser Üzerine Etkisi

Elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerinde etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılan epidemiyolojik çalışmalar, kanser üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Epidemiyolojik çalışmaların amacı, hastalıkların nasıl yayıldığını ve bu yayılmayı hangi faktörlerin belirlediğini araştırmaktır [26]. Bu araştırmalarda iki grup kullanılmaktadır. Birinci grup birtakım hastalıkları olan insanlardan, ikinci grup ise hastalığı olmayan (kontrol grubu) insanlardan oluşturulmaktadır. Yapılan çalışmalarda, iki grup üzerinde bir X faktörünün uygulanması sonucu görülen etkilenme oranları karşılaştırılmaktadır. Eğer oranlar aynı ise, hastalık ile X faktörü arasında bir ilişki olmadığı düşünülmektedir. Eğer hasta insanlardaki oran daha büyük ise X faktörünün etkisi olabilmektedir. Üçüncü bir olasılık da kontrol grubundaki oranın fazla olmasıdır ki, bu da X faktörünün insanları hastalıktan koruyabileceği anlamına gelmektedir. Etkilenme oranlarının oranı "bağıl risk" olarak tanımlanmaktadır.

İlk büyük epidemiyolojik araştırma Dr. Nancy Wertheimer ve fizikçi Ed Leeper tarafından Denver'da yapılmıştır [14]. Sonuçları 1979 yılında açıklanan çalışmada, araştırmacılar, elektromagnetik alanlarla çocuk kanserleri arasında istatistiksel bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Kanserden ölen çocuklar arasında iletim hatlarına 40 m yakında yaşayan çocukların 2 ila 3 kat daha fazla olduğunu

saptamışlardır. Bu çalışmada magnetik alan değerleri ölçülememiştir. Evlerdeki magnetik alan seviyelerini belirlemek için birtakım kodlamalar kullanılmıştır. İletim hatları boyutlarına göre sınıflandırılmış, uzaklıklar ve konfigürasyon baz alınarak tahmini alan değerleri belirlenmiştir.

Daha sonraları yine Denver'da, David Savitz ve grubu bir epidemiyolojik çalışma başlatmıştır. Bu çalışma, Wertheimer'ın araştırma yaptığı gruptan farklı olarak bir grup çocuk üzerinde yapılmıştır. Araştırma grubu epidemiyolojistler ve mühendislerden oluşturulmuştur. Araştırmada çocukların yaşadığı evlerdeki gerçek alan değerleri ölçülmüştür. Çalışma sonuçları 1988 yılında yayınlanmıştır. Raporda, dağıtım hatlarının yakınında 2 mG'dan yüksek magnetik alanların etkisinde yaşayan çocukların, kan kanserinde 2 kat, diğer kanser türlerinde ise 1,5 kat daha fazla risk taşıdığı belirtilmiştir [14].

1991 yılında Los Angeles'da yapılan bir araştırmada, iletim hatlarının oluşturduğu elektromagnetik alanlar ile kanser arasında güçlü bir ilişki saptanmıştır. Bunun yanı sıra elektrikli aletlerin oluşturduğu elektromagnetik alanların da kansere neden olabileceği belirtilmiştir. Ancak bu çalışmada kanser türleri incelenmemiştir [14].

1992 yılında İsveç'de yapılan bir çalışmada, iletim hatlarına 50 m mesafede yaşayan çocukların kan kanseri riskinin yüksek olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada risk hesabı az sayıda denek üzerinde yapılmıştır.

İsveç'de milli elektrikten korunma kurumu, iletim hatları yakınında yaşayan çocukların kan kanserine yakalanma olasılıklarının yükseldiği ve yılda yaklaşık 2 çocuğun söz konusu hatların yakınında yaşanması nedeniyle kan kanserine yakalandığını açıklamıştır.

Çocuklarda kan kanseri riskinin 1 ila 29 mG magnetik alan etkisinde 1,5 olduğu, 3 mG'un üzerindeki alanlarda bu değerin 3,8'e yükseldiği saptanmıştır. Risk oranının magnetik alanın büyüklüğü ile doğru orantılı olduğu belirtilmektedir.

Connecticut'da yapılan bir araştırmada beyin ve sinir sistemi kanserlerinden beş türünün, elektrik üretim merkezleri civarında yaşayan insanlarda görüldüğü saptanmıştır.

Kuzey Carolina'da beyin kanserinin birkaç türünün elektrik üretim merkezlerinin yakınında görüldüğü bildirilmiştir. Araştırmalar sonucunda, beyin kanseri oranının A.B.D. genelindeki orandan oldukça düşük olduğu belirtilmektedir.

1993 yılında California'da 36.000 elektrik işçisi üzerinde yapılan araştırmalarda, magnetik alan ve kanser riski arasında belirgin bir ilişkiye rastlanmamıştır. Kan kanseri ve lenf kanserinde yükselen riskler gözlenmiş, ancak istatistiki kesinliğe ulaştırılamamıştır.

1993 yılında Danimarka'da yapılan bir çalışmada ise kadınlarda görülen göğüs kanseri ile elektromagnetik alan maruziyetinin arasında bir ilişki görülmemiştir.

1994 yılında önce Kanada ve Fransa'da elektrik işçileri arasında büyük bir araştırma yapılmıştır. 223.292 işçi üzerinde 4151 kanser türü araştırılmıştır. İşçiler orta dereceden daha yüksek değerde magnetik alana (yaklaşık 31 mG) maruz kalmışlardır. Araştırmalar sonucunda kanser riskinin diğer insanlara göre 3 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Beyin tümörü riskinin ise 12 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Araştırmacılara göre bu bulgular çok yüksek değerde alan maruziyetinde ve az sayıda vaka üzerinde yoğunlaşmıştır.

Orta derecede magnetik alanlar için 29 kanser türü üzerinde yapılan araştırmalarda ise belirgin bir risk bulunmamıştır. Araştırmacılar kan kanseri ve beyin kanseri açısından bulguların kesin sonuçlar vermediği ve yalnızca bir hipotez olduğu üzerinde birleşmektedir.

1994 yılında elektrikli teçhizatlarda çalışan kadın işçiler üzerinde yapılan bir çalışmada, elektromagnetik alanlara maruz kalan kadınlarda göğüs kanserinden ölüm oranlarının diğer alanlarda çalışan kadınlara göre daha fazla olduğu kaydedilmiştir. Ancak çalışmada, kadınların aile geçmişleri, verimlilik ve perhiz faktörleri kontrol edilemediğinden sonuçlar kesinlik kazanmamıştır.

1994 yılında Norveç'de yapılan bir çalışmada da göğüs kanseri riskinin, daha çok radyo ve telgraf operatörü kadınlar arasında yaygın olarak görüldüğü tespit edilmiştir.

1995 yılında 138.000 işçi üzerinde büyük bir araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucunda magnetik alanların kan kanseri üzerinde bir etkisi bulunamamış, ancak beyin kanserine etkisi olduğu saptanmıştır [26].

New York'da telefon kablolarının bağlantılarını yapan insanların her gün 4,3 mG değerinde magnetik alana maruz kaldıkları bildirilmektedir. Bu kişilerin diğer insanlara; göre % 11 kolon kanseri, % 165 kan kanseri, % 100 beyin kanseri ve % 145 prostat kanserine daha fazla yakalandıkları açıklanmıştır.

Stockholm, İsveç'de yapılan bir araştırmada, 3 mG'dan daha büyük değerde magnetik alan etkisinde kalan çocuklarda diğerlerine göre kanser riskinin arttığı saptanmıştır [28]. Yetişkinlerde ise kan kanseri oranında % 120, lenf kanseri oranında % 120, ve sinir sistemi tümörlerinde ise % 420 oranında artış olduğu belirtilmiştir.

Evlerde kullanılan elektrikli cihazların, özellikle elektrikli battaniyelerin oluşturduğu elektromagnetik alanlarla kanser riski arasındaki ilişkiyi incelemek için birçok çalışma yapılmıştır [22]. Çalışmalar sonucunda elektrikli battaniye kullanımının, prostat kanserine etkisi olmadığı, ancak akciğer kanseri riskini yükselttiği saptanmıştır.

Yapılan epidemiyolojik çalışmalarda elektrik işçilerinin kan kanseri, lenf kanseri ve beyin kanserinden ölüm oranlarının normal ölümlere göre daha fazla olduğu saptanmıştır [23]. Bu çalışmalar, vücut ısısını yükseltmeye neden olacak yüksek magnetik alanlardan daha düşük değerdeki alanlara maruz kalan insanlar üzerinde yapılmıştır. Bu da göstermektedir ki; düşük elektromagnetik alanlar da sağlık üzerinde etkili olabilmektedir.

8-13 Haziran 1997 tarihleri arasında, Biyoloji ve Tıp'da Elektrik ve Magnetik üzerine İtalya'da İkinci Dünya Kongresi yapılmıştır. Kongrede, yapılan bir konuşmada elektromagnetik alanların, çocuklarda kan kanseri üzerine etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılan bir araştırmaya değinilmiştir. Berlin'de yapılan araştırmada, yapılan iki ayrı incelemenin sonuçları üzerinden ortak bir risk hesabı yapılmıştır. Almanya Çocuk Kanseri Kurumunun belirlediği kanserli çocuklar ile bir kontrol grubu inceleme amacıyla seçilmiştir. Çocuk odalarında ve oturma odalarında, kısa aralıklarla 24 saat süreyle yapılan ölçümlerde, çocukların maruz kaldığı alan

değerleri saptanmıştır. Magnetik alan değerleri ile kan kanseri arasındaki ilişki ≥ 0,2 μT ve < 0,2 μT kategorisinde incelenmiştir. Geceleri magnetik alan etkisinde kalan küçük çocuklarda bağıl risk 3,5 ve 1,9 olarak bulunmuştur. İki inceleme içinde toplam 176 hasta ve 414 kontrol deneği üzerinde yapılmıştır. Çalışma sonuçlarının birleştirilmesinden elde edilen risk oranı 2,3 olarak bulunmuştur. Araştırmacılar bulgularının, magnetik alan ile kan kanseri arasında bir ilişki olduğu hipotezini desteklediğini, ancak araştırmanın 0,2 μT'nın üzerindeki alanlara maruz kalan küçük bir grup üzerinde yapıldığı için kesin sonuçlar olmadığını belirtmektedirler. Çalışmaların istatistiksel olarak kesin sonuçlar vermesi için ülke genelinde bir incelemenin gerekliliğini vurgulamışlardır [24].

23-27 Haziran 2002 tarihinde Kanada'nın Quebec kentinde yirmi dördüncü yıllık Biyoelektromagnetik Kurumunun yıllık toplantısında aşağıdaki incelemelere yer verilmiştir [19]. 735 kV'luk iletim hatlarına yakın yerleşim bölgelerindeki kadınlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucu, uyku düzensizlikleri ve depresyon bulgularında artış kaydedildiği gözlenmiştir. Özellikle yaşlı kişilerde, 735 kV'luk iletim hatlarının sebep olduğu uyku düzensizlikleri melatonin seviyesiyle açıklanamamaktadır. Araştırmanın sonucunda, gözlem altındaki kişilerin 24 saat sürekli olarak 0,4 μT'lık bir maruziyetin ardından uyku bozuklukları yaşadıkları belirlenmiştir.

4.7 Çok Düşük Frekanslı (ELF) Alanların Etkileri

Günümüzde enerji iletiminin yüksek gerilim hatlarıyla sağlanması ve yerleşim bölgelerinde toplumun bu iletim hatları ile birlikte yaşamak zorunda kalması; taşıma hatlarının oluşturduğu elektromagnetik alanların etkilerinin araştırılması çalışmalarına yol açmıştır [29].

Yüksek gerilim hatlarının civarında hattan olan uzaklığı ve hattın gerilimine bağlı olarak elektrik alanı oluşur. Söz konusu çevrede normal ağırlıklı bir kimsede psikolojik rahatsızlıklar oluşturabilecek seviyede olan 17 μA'lik akım indüklenmesi oluşabilmektedir. Bu nedenle taşıma hatları civarında bulunan taşıt araçları, metal çatılar; temas halinde 1 μA'lik değeri aşan kısa devre akımlarına sebep olurlar. Yüksek gerilim hatları civarında yağmurlu günlerde şemsiye ile dolaşan kimselerde şemsiyenin metalik sapında rahatsızlık etkisi oluşturan seviyelerde akım indüklendiği bilinmektedir [30].

Taşıma hatları civarında magnetik alan değerleri 10 – 40 μT (1 T = 10000 Gauss) arasında değişir. Hattan 100 metre uzaklıkta magnetik alan 1 μT gibi çok küçük değerlere düşer. Küçük bir elektrik motorunun ürettiği 1 mT'lik değerle karşılaştırıldığında hayli düşük seviye olduğu rahatlıkla görülür. Tablo 4.13'de taşıma hattının altında bulunan bir insan vücudunun baş, şakak, boyun ve bacaklar gibi çeşitli bölgelerinde ölçülen elektrik alan değerleri ile, Tablo 4.14'de insan vücudunda indüklenen elektrik akımlarının değerleri verilmiştir [31].

Tablo 4.13 İletim Hatlarının Çevrelerinde Oluşturdukları Elektrik Alan Değerleri [31]

Hat Gerilimi (kV)	E-Alan (kV /m) Bölge I	E-Alan (kV /m) Bölge II	E-Alan (kV /m) Bölge III	E-Alan (kV /m) Bölge IV	E-Alan (kV /m) Bölge V
225	2,8	21,5	5,6	12,2	5,8
400	76,0	51,9	12,4	39,6	13,4
750	135,0	94,1	22,5	72,0	24,4
1000	173,0	118,0	28,2	90,0	30,4

Bölge I: Baş, Bölge II: Şakak, Bölge III: Boyun, Bölge IV: Omuz, Bölge V: Bacaklar ve Ayaklar

Tablo 4.14 İletim Hatlarının Çevrelerinde İndükledikleri Akım Değerleri [31]

Hat Gerilimi (kV)	İndüksiyon Akımı (μA) Baş	İndüksiyon Akımı (μA) Vücut
225	11,3	23,6
400	25,6	54,4
750	46,5	98,9
1000	58,2	124,0

Endüstriyel çevrelerde oluşan güç, yüksek frekanslı magnetik alanlar için taşıma hatlarına göre 10 ila 100 kat daha büyüktür. Düşük gerilimli dağıtım hatları, yüksek gerilimli hatlara göre daha şiddetli magnetik alan üretirler. İlerleyen bölümlerde; iletim hatlarının çevrelerinde oluşturdukları magnetik alan değerlerine ve bu konuda geçerli olan uluslararası referans değerlere yer verilecektir.

5. ELEKTROMAGNETİK ALANLAR İÇİN BELİRLENMİŞ GÜVENLİK SINIRLARI VE KORUMA YÖNTEMLERİ

5.1 Giriş

Elektrik enerjisi ile çalışan çeşitli alet ve donanımların çevrelerinde oluşturdukları elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerinde potansiyel bir etkisi olduğu yapılan araştırmalarla saptanmıştır. Söz konusu çalışmalar ve sonuçları bundan önceki bölümlerde açıklanmıştır.

Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Koruma Kurulu (ICNIRP) "iyonlaştırmayan radyasyon" konusunda kılavuzlar oluşturma çalışmaları başlattı. Ulaşılabilen bütün bilimsel deneyler, bulgular incelendi ve tartışıldı. Hazırlanan istatistiksel veriler gözden geçirildi. Elektromagnetik kirliliğin doğrudan ve dolaylı sağlık etkileri üzerinde araştırmalar desteklendi, izlendi ve veri tabanları oluşturuldu. Bunların sonunda insan sağlığı için zararlı olabilecek sınır değerler belirlenmeye çalışıldı ve kılavuzlar hazırlandı. Bu çalışmalar günümüzde de aralıksız sürmekte. Uluslararası tüm kılavuzlarında iki sınıfta limitlerden söz edilir. Bunlardan birincisi; genel halk maruziyeti için referans seviyelerdir. İkinci ise; çalışan kesimin maruziyeti için referans seviyelerdir.

Bu bölümde, gereksiz elektromagnetik alan maruziyetini önlemek için ülkemizde ve diğer ülkelerde belirlenmiş çalışan kesimi ve genel halkı ilgilendiren güvenlik sınırlarından bahsedilecektir. İnsanların günlük hayatta maruz kaldıkları elektromagnetik alanlardan korunabilmeleri için yayınlanmış önerilere de değinilecektir.

5.2 Yurt Dışında Belirlenmiş Güvenlik Sınırları

Amerika da ülke genelinde 60 Hz frekansında elektromagnetik alanlar için belirlenmiş ulusal standartlar bulunmamaktadır. Ülkedeki enerji dağıtım sistemi kamu ya da özel yatırımcılara ait pek çok farklı şirket tarafından işletilmektedir. Bu kuruluşlar hem eyalet hem de ulusal düzeyde kontrol edilmektedir. Ülke genelinde halk sağlığı üzerinde etkisi olan elektromagnetik alanların düzenlenmesi ile ilgili bir kurum olmadığı için eyaletler bu konuya el atmışlardır [14].

Eyaletlerin bazıları enerji iletim hatları çevresinde oluşan elektrik alanlar için standartlar belirlemişlerdir. Magnetik alanlar için ise iki eyalet (New York ve Florida) standartlar belirlemiştir. Bu magnetik alan standartların eyaletlerde bulunan hatların en yüksek yük değerinde oluşturdukları alan değerleridir. Bu standartların hedefi ileride kurulacak hatların şuandaki elektromagnetik alan seviyelerinin üzerine çıkmaması sağlamaktır. Eyaletlerde belirlenmiş sınırlar Tablo 5.1 de verilmiştir [26].

Tablo 5.1 ABD'de eyaletlerdeki elektromagnetik alan standartları [26]

Eyalet	Elektrik Alan		Magnetik Alan	
	Hat Boyunca	Hat Çevresinde	Hat Boyunca	Hat Çevresinde
Florida	8 kV/m[a]	2 kV/m	-	150 mG[a]
	10 kV/m[b]	2 kV/m	-	150 mG[a]
Minnesota	8 kV/m	-	-	-
Montana	7 kV/m[d]	1 kV/m	-	-
NewYork	11.8 kV/m	1.6 kV/m	-	200 mG
	11 kV/m*	1.6 kV/m	-	200 mG
	7 kV/m[d]	1.6 kV/m	-	200 mG
Oregon	9 kV/m	-	-	-
NewJersey	-	3 kV/m	-	-

a: 69-230 kV luk hatlar için
b: 500 kV luk hatlar için
c: 500 kV luk hatlardaki kesin değerler
d: Tepe geçişinde maksimum değer
*: Yol geçişinde maksimum değer

Eyaletlerdeki düzenlemeler elektromagnetik alanları sadece bir yönden düzenlemektedir. Elektrik alanları iletim hatlarının çevresindeki güvenlik açısından belirli bir azami değerleri aşmamalıdır. Belirtilen sınırlar gerilim değerleri yüksek olan iletim hatlarına aittir.

Magnetik alanların büyüklüğünü sınırlandıran düzenlemeler ise daha geniş kapsamlıdır. Magnetik alanlarda ise yüksek değerler dağıtım sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Doğru bir düzenleme, alt istasyonlarda dağıtım transformatörlerinde servis düzeyinde yapılmalıdır [14].

Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI) endüstri alanında zorunlu olmayan standartlar için çalışmıştır. Uzun yıllar önce elektromagnetik alanlarla ilgili bir kılavuz hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kılavuzda revizyonlarda yapılarak alan seviyeleri düşürülmüştür. ANSI'nın 1992 yılında hazırladığı kılavuz, bilim adamları tarafından yeterli bulunmamıştır. Belirlenen standartlar, termal etkiler doğuracak kadar güçlü olan elektromagnetik alanlar üzerine hazırlanmıştır. Daha zayıf alan değerleri incelememiştir [23].

Sağlık ve güvenlik konusunda çok duyarlı olan İsveç hükümeti 25 yıl süren yoğun araştırmalardan sonra, alçak frekanslı magnetik alan sınırı 2.5 mG olarak belirlemiştir. İsveç standartları dünya çapında kabul edilmektedir. Bir insanın bu sınır değerin üzerinde bir magnetik alana maruz kalması durumunda, çeşitli sağlık problemleri olabileceği belirtilmektedir [33].

Avustralya'da 1989 yılında yayınlanan, 50/60 Hz frekansındaki elektromagnetik alan sınırları Tablo 5.2'de görülmektedir.

Tablo 5.2 Avustralya'daki Standartlar [28]

	Elektrik Alan (kV/m)	Magnetik Alan (G)
Halk-bütün gün	5	1
Halk-belli günlerde	10	10
Mesleki-bütün gün	10	5
Mesleki-belli günlerde	30	50 (Her gün 2 Saat)

İngiltere de 1988 yılında 50/60 Hz frekansındaki magnetik alanlar için yayınlanmış standartlarda, hem genel halk, hem de ilgili meslekler için 20 gauss limit değer belirlenmiştir. Bu değer Amerika ve İsveç deki standartlardan oldukça yüksektir [14].

1989'da Uluslararası Radyasyondan Koruma Derneği (IRPA), geçici elektromagnetik alan maruziyeti için bir kılavuz hazırlanmıştır. Bu kılavuzda, işyerlerinde ve genel halk için sınırlar öngörülmektedir.

Tablo 5.3 IRPA Tarafından Belirlenmiş Sınır Değerler [46]

Maruziyet	Elektrik Alan	Magnetik Alan
İŞ YERLERİ		
Bütün Gün	10 kV/m = 0,1 kV/cm	0,5 mT (5000 mG)
Kısa Süre	30 kV/m = 0,3 kV/cm	5 mT (50000 mG)
Uzuvlarda Oluşan	---------	250 mT (250000 mG)
GENEL HALK		
Bütün Gün	5 kV/m = 0,05 kV/cm	0,1 mT (1000 mG)
Günde Birkaç Saat	10 kV/m = 0,1 kV/cm	1 mT (10000 mG)

IRPA bu kılavuzu hazırlarken, elektromagnetik alanların insan vücudunda indüklendiği akımın, vücuttaki doğal (fizyolojik) olarak oluşan akımlara eşit ya da büyük olduğu varsayımından yola çıkmıştır. Bu nedenle IRPA'nın önerdiği limitler sağlık üzerine etkisi olabilecek alan seviyelerinden daha büyüktür ve IRPA'nın belirlediği sınırlar yetersiz bulunmuştur [20].

5.3 Türkiye'de Belirlenmiş Güvenlik Sınırları

Ülkemizde elektromagnetik alanların standartlaştırılması ile ilgili çalışmalar Türk Standartlar Enstitüsü (TSE) tarafından yürütülmüştür. TSE'nın 1996 yılında yayınladığı standart, sıfır ile10 kHz frekans aralığındaki statik ve düşük frekanslı elektrik ve magnetik alanlara maruz kalan insanlarda olası etkilerin önlenmesi için oluşturulmuştur.

Standart iki kademeli oluşturulmuş, işçiler ve genel halk için ayrı ayrı temel sınırlamalar ve referans verilmiştir [39].

5.3.1 Temel Sınırlamalar

TSE Standardının bu bölümünde, göz önüne alınan frekans aralığında, indüklenen akım yoğunluğu, temas akımı, elektrik alan ve magnetik alan için aşılmaması gereken temel sınırlar belirtilmiştir.

İnsanların çevrelerindeki elektromagnetik alana sürekli maruz kalmaları durumunda, baş ve kalp bölgesinde indüklenecek akım yoğunlukları ile ilgili temel sınırlamalar Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'de verilmiştir. Bu temel sınırlamalar ileride verilecek olan referans seviyelerini kontrol etme faktörleridir.

Tablo 5.4 İndüklenen Akım Yoğunluğu (İşçiler için) [39]

Frekans (f,Hz)	İndüklenen Akım Yoğunluğu (mA/m^2)
0,1 – 1	40
1 – 4	40 / f
4 – 1000	10
1000 - 10000	f / 100

Tablo 5.5 İndüklenen Akım Yoğunluğu (Genel halk için) [39]

Frekans (f,Hz)	İndüklenen Akım Yoğunluğu (mA/m^2)
0,1 – 1	16
1 – 4	16 / f
4 – 1000	4
1000 - 10000	f / 250

Değişken alan içindeki cisimlere dokunulması ile oluşan temas akımı ile ilgili temel sınırlamalar Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.6 İşçiler İçin temas Akımı Sınırlaması [39]

Frekans (f,Hz)	Akım (mA)
0.1-10.000	3.5

Tablo 5.7 Genel Halk İçin Temas Akımı Sınırlaması [39]

Frekans (f,Hz)	Akım (mA)
0.1-7.500	1.5
7.500-10.000	2×10^{-4} f

Genel olarak vücuda paralel elektrik alanın temel sınırlamaları; 0-0.1 Hz aralığında frekanslar için 42 kV/m (tepe) ve 0.1 Hz'in üzerindeki frekanslar için 30 kV/m (rms) olarak belirlenmiştir. Standartta magnetik alan için temel sınır 2T olarak verilmiştir.

5.3.2 Referans Seviyeleri

Standardın bu bölümünde verilen değerler, muhtemel geniş kapsamlı maruziyet durumları da göz önüne alınarak, alan, referans seviyenin altındaysa en kötü durumda bile temel sınırlamalar aşılmayacak şekilde ayarlanmıştır.

Elektrik alan için belirlenmiş referans seviyeler Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.8 İşçiler İçin Elektrik Alan Referans Seviyeleri [39]

Frekans (f, Hz)	Elektrik Alan (E, kV/m)	Zaman (t, saat)
0.1-0.1	42[b]	**t** $\leq 112 / E^a$
0.1-50	30[b]	**t** $\leq 80 / E^a$
50-150	1500 / f (50 Hz'de 30)	**t** $\leq 80 / E^a$
150-1.500	1500 /f	
1.500-10.000	1	

a: Bu değer 8 saatlik çalışma süresinde maksimum alan seviyelerinde geçirilen sürenin limitini belirler.
b: Son sütundaki zamanla ilgili sınırlamalar, indüklenmiş akım yoğunluğu ile ilgili temel sınırlamalar saklı kalmak kaydı ile alanın vücuda dik olduğu durumlarda bu seviyeler aşılabilir.

Tablo 5.9 Genel Halk İçin Elektrik Alan Referans Seviyeleri [39]

Frekans (f, Hz)	Elektrik Alan (E, kV/m)
0 - 0,1	14
0,1 – 60	10
60 – 1500	600 / f
1500 – 10000	0,4

Magnetik alanlar için belirlenmiş referans seviyeleri Tablo 5.10 ve Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.10 İşçiler İçin Magnetik Alan Referans Seviyeleri [39]

Frekans (f,Hz)	Elektrik Alan (E,kV/m)
0-0,1	2 T
0,1-0,23	1,4 T
0,23-1	320 / f mT
1-4	320 / f^2 mT
4-1500	80 / f mT (50 Hz'de 1.6 mT)
1500-10000	0,053 mT

Magnetik alanlar için, baş ve gövdenin maruz kaldığı alanın ortalaması veya baş ve gövdenin merkezindeki alanın değeri esas alınmıştır. Kol ve bacaklar için daha yüksek değerlere izin verilmektedir [27].

Tablo 5.11 Genel Halk Magnetik Alan Referans Seviyeleri [39]

Frekans (f, Hz)	Elektrik Alan (E, kV/m)
0-0.1	0.04 T
0.1-1.15	0.028 T
1.15-1.500	32 / f mT (50 Hz'de 0.64 mT)
1.500-10.000	0.021 mT

5.4 Düşük Frekanslı (0 Hz – 10 KHz) Işınımların İnsan Sağlığına Etkisi

Günümüzde elektrik enerji iletiminin yüksek gerilim hatlarıyla sağlanması ve yerleşim bölgelerinde toplumun bu iletim hatları ile birlikte yaşamak zorunda kalması; taşıma hatlarının oluşturduğu elektromagnetik alanların etkilerinin araştırılması çalışmalarına yol açmıştır.

Elektromagnetik ışınımın zararlı etkisinden korunmak için, daha az ışınım almakla ilgili kısıtlamalar verilmektedir. Bu kısıtlamalar, vücutta ışınım sonucu oluşan akım yoğunluğu ve özgül soğurulma oranı gibi biyolojik açıdan anlamı olan büyüklük cinsinden verilmektedir.

Bu büyüklükler doğrudan ölçülmediklerinden, bunlar yerine dış elektrik ve magnetik alan güç yoğunluğu cinsinden ölçülür. Sürekli elektromagnetik ışınım gibi darbeli elektromagnetik ışınımda insan sağlığı üzerinde etkili olur. Standartlar; mesleki ve genel halk sağlığı olmak üzere iki seviyede verilmişlerdir. Halkın sınır değerleri; ışımanın bilincinde olmamaları nedeniyle daha küçük tutulmuştur. İşçilerin korunmak için yeterli bilgi ve eğitime sahip oldukları düşünülerek mesleki etkilenme sınırı daha büyük tutulmuştur. İndüklenen akımların biyolojik etkileri Tablo 5.12'de gösterilmiştir.

Tablo 5.12 Oluşan akım yoğunluğuna göre biyolojik etkiler [33]

Akım Yoğunluğu (mA/m^2)	İndüklenmiş Akım Yoğunluğunun Etkileri
≥ 1000	Kalbin ilave kasılması, Kalpte çarpıntı, Sağlık zararları
1000 – 100	Merkezi sinir sistemini uyarmada değişiklik, sağlık zararı olasılığı
100- 10	Genel olarak kabul edilen etkiler, protein, DNA sentezinde, enzim hareketliliğindeki değişmeler, görme ve sinir sisteminde oluşabilecek olası etkiler
10 – 1	Önemsiz biyolojik etkiler ; Örneğin kalsiyum metabolizmasında veya melatonin (gün-gece ritmini kontrol eder) üretimindeki değişim
< 1	Etkiler yok

Değişken alanın etkisi altındaki baş veya kalp bölgesinde indüklenen akım yoğunlukları ile ilgili sınırlamalar aşağıdaki Tablo 5.13'de verilmiştir. İndüklenen akım yoğunluğu (rms- mA/m^2) cinsindendir.

Tablo 5.13 İndüklenen akım yoğunluğunun sınırları [33]

Frekans Aralığı (Hz)	Mesleki (İşçiler için) Sınır	Genel Halk Sağlığı için Sınır
0,1 – 1	40	16
1 – 4	40 / f	16 / f
4 – 1000	10	4
1000 -10000	f / 100	f / 250

Elektromagnetik alan içindeki iletken cisme dokunan kişiler dolaylı olarak etkilenir. Alan büyük ise kişide şok veya yanma oluşturabilir. Bu etkileri önlemek için temas akımı sınırları belirlenmiştir. Değişken alandaki cisimden dokunmadan dolayı oluşan temas (dokunma) akımları ile ilgili sınırlamalar Tablo 5.14'de verilmiştir. Temas akımı mA (rms) cinsindendir.

Tablo 5.14 Temas akımı ile ilgili sınırlamalar [33]

Frekans Aralığı (Hz)	Mesleki Sınır	Genel Halk Sağlığı için Sınır
0,1 – 7500	3,5	1,5
7500 – 10000	3,5	2.10^{-4} f

Buradaki temel sınırlamalar, ölçülebilir referans seviyelerin elde edilmesinde kullanılmıştır.

Elektrik alanı insan vücudunda yüzey yükleri oluşturur. Bu yükler deride sızlamalara, vücut kıllarının titreşmesine ve elbise gibi diğer cisimlerde küçük

boşalmalara sebep olabilir. Elektrik alanı [E] ile ilgili referans değerleri (kV/m) olarak Tablo 5.15'de verilmiştir.

Tablo 5.15 Elektrik alanı ile ilgili referans değerleri [32]

Frekans Aralığı (Hz)	E (kV/m)	8 Saatlik Zaman Süresinde Etki Altında Geçirilen Zaman (saat)	Frekans Aralığı (Hz)	E (kV/m)
0 – 0,1	42	$t \leq 112 / E$	0 – 0,1	14
0,1 – 49	30	$t \leq 80 / E$	0,1 – 60	10
50	30	$t \leq 80 / E$	50	10
51 – 150	1500/f	$t \leq 80 / E$	60 – 1500	600/f
151 – 1500	1500/f	-	1500 – 10000	0,4
1500 – 10000	1	-	-	-

Değişken elektrik alan veya magnetik alanın vücutta oluşturduğu akım yüksek değerde ise sinirleri ve kas dokusunu uyarabilir. Büyük değerlikli statik magnetik alanda yürüyen insanda, bu alan baş dönmesine veya bulantıya sebep olabilir. İnsanların elektrik ve magnetik alan içerisinde bulunan metallere dokunmasıyla oluşan kıvılcım boşalmaları ve temas akımları sinir ve kas hücrelerinin uyarılmasına, rahatsızlığa ve hatta elektrik şoklarına neden olabilir. Magnetik akı yoğunluğu ile ilgili referans değerler Tablo 5.16'de verilmiştir.

Tablo 5.16 Magnetik akı yoğunluğu referans değerleri [32]

Magnetik Akı yoğunluğu [mT] referans sınır değerleri (Baş, Gövde için)

Mesleki Sınır Değeri [mT]		Genel Halk Sağlığı İçin Sınır Değeri [mT]	
Frekans Bölgesi (Hz)	Magnetik İndüksiyon	Frekans Bölgesi (Hz)	Magnetik İndüksiyon
0 - 0,1	2000 *	0 - 0,1	40
0,1 - 0,23	1400 **	0,1 - 1,15	28
0,23 - 1	320/f	1,5 - 49	32/f
1 - 4	120/f	50	0,64
50	1,6	51 - 1500	32/f
4 - 1500	80/f	1500 - 10000	0,021
1500 - 10000	0,053		

Kol ve Bacaklar İçin Daha Yüksek Değerlere İzin Verilebilir

Mesleki Sınır Değeri		Genel Halk Sağlığı İçin Sınır Değeri	
Frekans Bölgesi (Hz)	Magnetik İndüksiyon	Frekans Bölgesi (Hz)	Magnetik İndüksiyon
0 - 0,1	5000	0 - 0,1	100
0,1 - 1,15	3500	0,1 - 7,1	71
1,5 - 49	1250/f	7,1 - 1500	500/f
50	25	1500 - 10000	0,33
51 - 1500	1250/f		
1500 - 10000	0,83		

5.5 IEEE Standartları

Yüksek gerilim enerji iletim hatlarının ve evlerde kullanılan elektrikli cihazların üretmiş olduğu düşük frekanslı alanların insanlar üzerindeki muhtemel etkilerinden korunması amacıyla IEEE'nin 2002 yılında revize ederek yayınladığı genel halk ve kontrollü çevre için limit değerler Tablo 5.17'de verilmiştir [40].

Tablo 5.17 Elektromagnetik Maruziyette Vücudun Çeşitli Dokularına Uygulanan Kısıtlamalar [40]

Maruz Kalan Doku	f_e (Hz)	Genel Halk	Kontrollu Cevre
		E_θ - rms (V/m)	E_θ - rms (V/m)
Beyin	20	5.89×10^{-3}	1.77×10^{-2}
Kalp	167	0.943	0.943
Eller&Ayaklar&Bilekler	3350	2.10	2.10
Diger Dokular	3350	0.701	2.10

5.6 Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) Yayınladığı Referans Seviyeler

Dünya Sağlık Örgütü'nün yayınlamış olduğu ve bazı ülkelerde sınır değer olarak kabul edilen elektrik ve magnetik alanlara ait referans seviyeleri Tablo 5.18, 5.19 ve 5.20'de verilmiştir [41], [42], [43].

Söz konusu referans seviyeler, frekansı 300 GHz'e kadar olan elektrik ve magnetik alanlar içindir.

Türkiye İçin Temel Sınırlar ve Referans Seviyeleri

Tablo 5.18 WHO Tarafından Türkiye için Belirtilen Referans Seviyeler [41]

300 GHz'e KADAR ZAMANLA DEĞİŞEN ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLAR İÇİN REFERANS SEVİYELERİ								
Frekans (MHz)	E-Alan /Kaynak (V/m)	Toplam E-Alan (V/m)	H-Alan / Kaynak (A/m)	Toplam H-Alan (A/m)	B-Akı Yoğunluğu / Kaynak (μT)	Toplam B-Akı Yoğunluğu (μT)	Güç Yoğunluğu / Kaynak (W/m^2)	Toplam Güç Yoğunluğu (W/m^2)
0,010-0,15	22	87	1,03	5	1,05	25,06	-	-
0,15-1	22	87	0,18 f	0,73 / f	0,23 / f	0,92 / f	-	-
1-10	$22 / f^{1/2}$	$87 / f^{1/2}$	0,18 f	0,73 / f	0,23 / f	0,92 / f	-	-
10-400	7	28	0,02	0,073	0,023	0,092	0,125	2
400-2000	$0,341 f^{1/2}$	$1,375 f^{1/2}$	$0,0009 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,001 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	f / 3200	f / 200
2000-60000	15	61	0,04	0,16	0,05	0,2	0,625	10

Kanada İçin Temel Sınırlar ve Referans Seviyeleri

Tablo 5.19 WHO Tarafından Kanada için Belirtilen Referans Seviyeler [42]

STATİK ELEKTRİK ve MAGNETİK ALANLAR için TEMEL SINIRLAMALAR					
Maruz Kalma Kategorisi		E-Alan Şiddeti (kV/m)		B-Alan (mT)	
Mesleki		N/A		N/A	
Genel Halk		N/A		N/A	
300 GHz'e KADAR ZAMANLA DEĞİŞEN ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLAR İÇİN REFERANS SEVİYELERİ					
Maruz Kalma Kategorisi	Frekans Aralığı	Tüm Vücut Ortalama SAR (W/kg)	Baş ve Vücuttaki SAR Uzaysal Pik Değeri (W/kg)	Kollar ve Bacaklardaki SAR Uzaysal Pik Değeri (W/kg)	Güç Yoğunluğu (W/m^2)
Mesleki	100 kHz - 10 GHz	0.4	8	20	
	10 GHz - 150 GHz				50
	150 GHz - 300 GHz				$3.33 \times 10^{-4} f$
Genel Halk	100 kHz - 10 GHz	0.08	1.6	4	
	10 GHz - 150 GHz				10
	150 GHz - 300 GHz				$6.67 \times 10^{-5} f$

300 GHz'e KADAR ZAMANLA DEĞİŞEN ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLAR İÇİN REFERANS SEVİYELERİ				
MESLEKİ				
Frekans (MHz)	E-Alan (V/m)	H-Alan (A/m)	Güç Yoğunluğu / Kaynak (W/m^2)	Ortalama Süre (dk.)
0,003-1	600	4,9	-	6
1-10	600 / f	4,9 / f	-	6
10-30	60	4,9 / f	-	6
30-300	60	0,163	10	6
300-1500	$3,54\ f^{1/2}$	$0,0094\ f^{1/2}$	f / 30	6
1500-15000	137	0,364	50	6
15000-150000	137	0,364	50	$616000 / f^{1.2}$
150000-300000	$0,354\ f^{1/2}$	$9,4 \times 10^{-4}\ f^{1/2}$	$3,33 \times 10^{-4}\ f^{1/2}$	$616000 / f^{1.2}$
300 GHz'e KADAR ZAMANLA DEĞİŞEN ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLAR İÇİN REFERANS SEVİYELERİ				
GENEL HALK				
Frekans (MHz)	E-Alan (V/m)	H-Alan (A/m)	Güç Yoğunluğu / Kaynak (W/m^2)	Ortalama Süre (dk.)
0,003-1	280	2,19	-	6
1-10	280 / f	2,19 / f	-	6
10-30	28	2,19 / f	-	6
30-300	28	0,073	2	6
300-1500	$1,585\ f^{1/2}$	$0,0042\ f^{1/2}$	f / 150	6
1500-15000	61,4	0,163	10	6
15000-150000	61,4	0,163	10	$616000 / f^{1.2}$
150000-300000	$0,158\ f^{1/2}$	$4,21 \times 10^{-4}\ f^{1/2}$	$6,67 \times 10^{-4}\ f^{1/2}$	$616000 / f^{1.2}$

USA İçin Temel Sınırlar ve Referans Değerleri

Tablo 5.20 WHO Tarafından USA için Belirtilen Referans Seviyeler [43]

300 GHz'e KADAR ZAMANLA DEĞİŞEN ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLAR İÇİN REFERANS SEVİYELERİ

Maruz Kalma Kategorisi	Frekans Aralığı	Baş ve Vücut için Akım Yoğunluğu (mA/m^2)	Tüm Vücut Ortalama SAR (W/kg)	Baş ve Vücuttaki SAR Uzaysal Pik Değeri (W/kg)	Kollar ve Bacaklardaki SAR Uzaysal Pik Değeri (W/kg)	Güç Yoğunluğu (W/m^2)
Mesleki	0.3MHz-6GHz	N/A	0.4	8	20	
Genel Halk	0.3MHz-6GHz	N/A	0.08	1.6	4	

300 GHz'e KADAR ZAMANLA DEĞİŞEN ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLAR İÇİN REFERANS SEVİYELERİ				
MESLEKİ				
Frekans (MHz)	E-Alan (V/m)	H-Alan (A/m)	Güç Yoğunluğu / Kaynak ($W/m^{2)}$	Ortalama Süre (dk.)
0,3-3	0,614	1,63	1000	6
3-30	1,842 / f	4,89 / f	9000 / f^2	6
30-300	0,0614	0,163	10	6
300-1500	n/a	n/a	f / 30	6
1500-100000	n/a	n/a	50	6
300 GHz'e KADAR ZAMANLA DEĞİŞEN ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLAR İÇİN REFERANS SEVİYELERİ				
GENEL HALK				
Frekans (MHz)	E-Alan (V/m)	H-Alan (A/m)	Güç Yoğunluğu / Kaynak ($W/m^{2)}$	Ortalama Süre (dk.)
0,3-3	0,614	1,63	1000	30
3-30	0,824 / f	2,19 / f	1800 / f^2	30
30-300	0,0275	0,073	2	30
300-1500	n/a	n/a	f / 150	30
1500-100000	n/a	n/a	10	30

5.7 Elektromagnetik Alanlardan Güç Soğurma

Düşük frekanslı elektrik ve magnetik alanların neden olduğu dokularda güç soğurulması, genelde, ihmal edilebilecek denli az. Bu nedenle vücut sıcaklığında kayda değer bir artış yaratmaz. Ancak, 100 kHz'in üstündeki frekanslarda durum değişir ve güç soğurulması kayda değer boyutlara ulaşmaya başlar. Genelde, düzlem elektromagnetik alanlar altında bulunan vücuttaki güç soğurulması dokudan dokuya çok farklılıklar gösterir. Bu anlamda dört farklı frekans bölgesi ve etkileşimden söz edilebilir;

• 100 kHz ile 20 MHz arasında güç soğurulması daha çok boyun ve ayaklarda görülür.

• 20 MHz ile 300 MHz arasında hem vücudun tümünde hem de kısmi bölgelerde, rezonans etkisi nedeniyle, anlamlı güç soğurulması olabilir.

• 300 MHz ile birkaç GHz arasında yerel ve farklı güç soğurulması ile karşılaşılabilir.

• 10 GHz'in üstünde ise vücudun yüzeye yakın kısımlarında güç soğurulması söz konusu.

5.8 Yüksek Frekanslı Elektromagnetik Işımanın Etkileme Sınırları ve Standartları

İnsan vücudu yüksek frekans alanlarına duyarlıdır. Vücut ışınan enerjiyi yutar. Yutulan enerji ısıya dönüşür. Yüksek frekanslı alan tüm vücutta veya belli bir bölgede ısı oluşturur. Isı içeride oluştuğu için ısı algılayıcı olan derimiz tarafından algılanmaz. Bu yüzden vücut sıcaklığı kontrol sistemi etkilenir. Bu etki frekansa bağımlıdır. Darbeli ışınım (örneğin radar, GSM sistemi) sürekli ışınımdan daha fazla biyolojik sisteme etki yapar. Bu ışınımdan hücre zarı da etkilenir.

Teknolojik gelişmeler sonucu EM enerjisini yayınlayan cihazların sayısı hızla artmıştır. EM ışımasının artması ile birlikte insan sağlığı üzerine zararlı etkileri de artmıştır. EM ışımasının insan sağlığı üzerine zararlı etkilerini azaltmak için EM ışımasının belirli bir değerde olmasını belirten standartlar geliştirilmiştir. EM ışıma canlıya ulaştığında, bu canlı tarafından soğurulmaktadır. Enerji soğurulması ile ilgili tanımlar aşağıdaki gibidir. İnsan vücudu bir anten gibi davrandığından belirli bir dalga boyunda vücut daha fazla enerji yutar. Vücudun boyutu yarım dalga boyu (rezonans frekansı) olduğunda vücut daha fazla enerji yutar. Vücut 30-300 MHz rezonans frekansında aynı alandan büyük miktar enerji yutar. Çocuklar yetişkinlerden daha yüksek rezonans frekansına sahiptirler.

1-4 [W/kg]'lık SAR aralığında gözlenen biyolojik etkinin ısıl olduğu düşünüldüğünden SAR eşiğinin frekanstan bağımsız olduğu kabul edilmektedir. 4W/kg'lık bir ışınıma 30 dakika maruz bırakılan insanın vücut sıcaklığı 1˚C'den az yükseltilmektedir. (Bu vücut sıcaklık yükselmesi kabul edilebilir derecededir.) EM ışımasının, insan sağlığı üzerine zararlı etkilerinin başladığı SAR değeri 4W/kg

olarak kabul edilir. EM ışınımın zararlı etkilerini azaltmak için mesleki temel etkileme sınırı, etkilenme SAR sınırın değerinin 1/10 olarak alınır. Yani mesleki ortalama etkilenme SAR sınırı, 4/10 = 0,4 [W/kg]'dır. Burada güvenlik katsayısı olarak 1/10 alınmıştır. Genel halk sağlığı için güvenlik katsayısı 5 kat daha artırılarak 1/50 seçilmiştir. Yani genel halk sağlığı ortalama etkilenme SAR sınırı, 4/50 = 0,08 [W/kg] olarak belirlenmiştir.

İnsan vücudunda soğurulan enerji dağılımı homojen olmadığından ve EM ışınımın etkilenme koşullarına bağlı olduğu için, ortalama SAR kesin sınır değildir. Tüm vücudun ortalama SAR'ı 0,4 [W/kg]'dan az olmasına rağmen soğrulan enerji sınırlı sayıdaki dokuda yığılabilir. Bundan dolayı yerel sıcaklık yükselmesini önlemek için vücudun herhangi bir kısmı için ek temel sınır 2W/100g önerilmektedir. Gözler, EM ışımasında kritik organlardan biridir. Bu nedenle gözlere dikkat edilmesi gerekir.

IRPA (The International Radiation Protection Association) Uluslararası Işınımda Korunma Birliği ve ANSI (American National Standarts Institute) Amerikan Standartlar Enstitüsü, RF ışımasının insan sağlığı üzerine zararlı etkilerinin SAR = 4 W/kg'dan daha büyük değerlerde oluştuğu göz önüne alarak bu değerin onda biri (1/10) yani 0,4 W/kg sınır değer olarak almıştır. Bu değer, RF ışımasının mesleki etkilenme sınırı (Occupatinal Exposure Limits) olarak benimsenmiştir. Bu değer tüm gövde için verilen ortalama SAR değeridir. Bazı koşullarda kol ve bacaklarda yerel SAR 0,4W/kg aşabilir. Bu nedenle IRPA yerel SAR sınırı için kol bacaklarda 2W/100g ve vücudun diğer kısımlarda 1W/100g değerlerini önermiştir. Genel halk sağlığı ışıma sınırı (Exposure limits for the general population) 5 kat daha küçük seçilmiştir. Yani genel halk sağlığı için ortalama etkilenme SAR sınırı 0,08 (W/kg)'dır.

EM ışımasının mesleki etkilenme sınırı Tablo 6.8.1'de verilmiştir. Bu değer, 10 MHz – 300 GHz için SAR = 0,4 [W/kg] değerinden türetilmiştir. Bu sınır değeri bir veya birden fazla RF ışıma kaynağı tarafından vücudun, bir çalışma günü boyunca herhangi bir 6 dakikalık periyottaki ortalama etkilenme değeridir. Mesleki etkilenme sınırı, sistemin gerçekleştirilmesinde ve bakımında çalışanların ışımaya karşı korunur olmaları nedeniyle genel halk sağlığı sınırından daha yüksek tutulmuştur. Tablo 5.21, Radyo frekansları için IRPA tarafından belirlenen mesleki

maruz kalma sınırları gösterilmiştir. Tablodaki frekans aralıkları MHz cinsinden verilmiştir.

Tablo 5.21 RF Işımasının Mesleki Etkilenme Sınırı (IRPA 1988a) [38]

Frekans Bölgesi (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti V/m (rms)	Magnetik Alan Şiddeti A/m (rms)	Eşdeğer Düzlemsel Dalga Güç Yoğ.	
			W/m^2	mW/cm^2
0,1-1	614	1,6/f	-	-
>1-10	614/f	1,6/f	-	-
>10-400	61	0,16	10	1
>400-2000	$3\sqrt{f}$	$0{,}008\sqrt{f}$	f/40	f/400
>2000-300.10^3	137	0,36	50	0,5

Genel halk sağlığı için RF ışıması 10 MHz'den büyük frekanslarda tüm vücut için herhangi bir 6 dakikalık sürede ortalama SAR = 0,08 W/kg değerini aşmamalıdır. RF ışımasının genel halk sağlığı için etkileme sınırı Tablo 5.22'de verilmiştir. Bu değerler 10 MHz –300 GHz için SAR = 0,08 W/kg değerinden türetilmiştir. Bu sınırlar sürekli veya modülasyonlu bir veya birden fazla elektromagnetik ışımasının etkisinde kalan tüm vücudun 24 saatlik bir gün sırasında herhangi bir 6 dakikalık süresindeki ortalama etkilenme değeridir.

Tablo 5.22 RF Işımasının Genel Halk Sağlığı İçin Etkilenme Sınırı (IRPA 1988a) [38]

Frekans Bölgesi (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti V/m (rms)	Magnetik Alan Şiddeti A/m (rms)	Eşdeğer Düzlemsel Dalga Güç Yoğ. W/m^2	Eşdeğer Düzlemsel Dalga Güç Yoğ. mW/cm^2
0,1-1	87	$0{,}23/\sqrt{f}$	-	-
>1-10	$87/\sqrt{f}$	$0{,}23/\sqrt{f}$	-	-
>10-400	27,5	0,073	2	0,2
>400-2000	$1{,}375\sqrt{f}$	$0{,}0037\sqrt{f}$	f/200	f/2000
>2000-300.10^3	61	0,16	10	1

Orta dalga radyo (GM), FM, TV sistemi ve GSM sistemi için genel halk sağlığı etkilenme sınır değerleri; Tablo 5.22'den faydalanarak elde edilmiş, Tablo 5.23 ve Tablo 5.24'de verilmiştir.

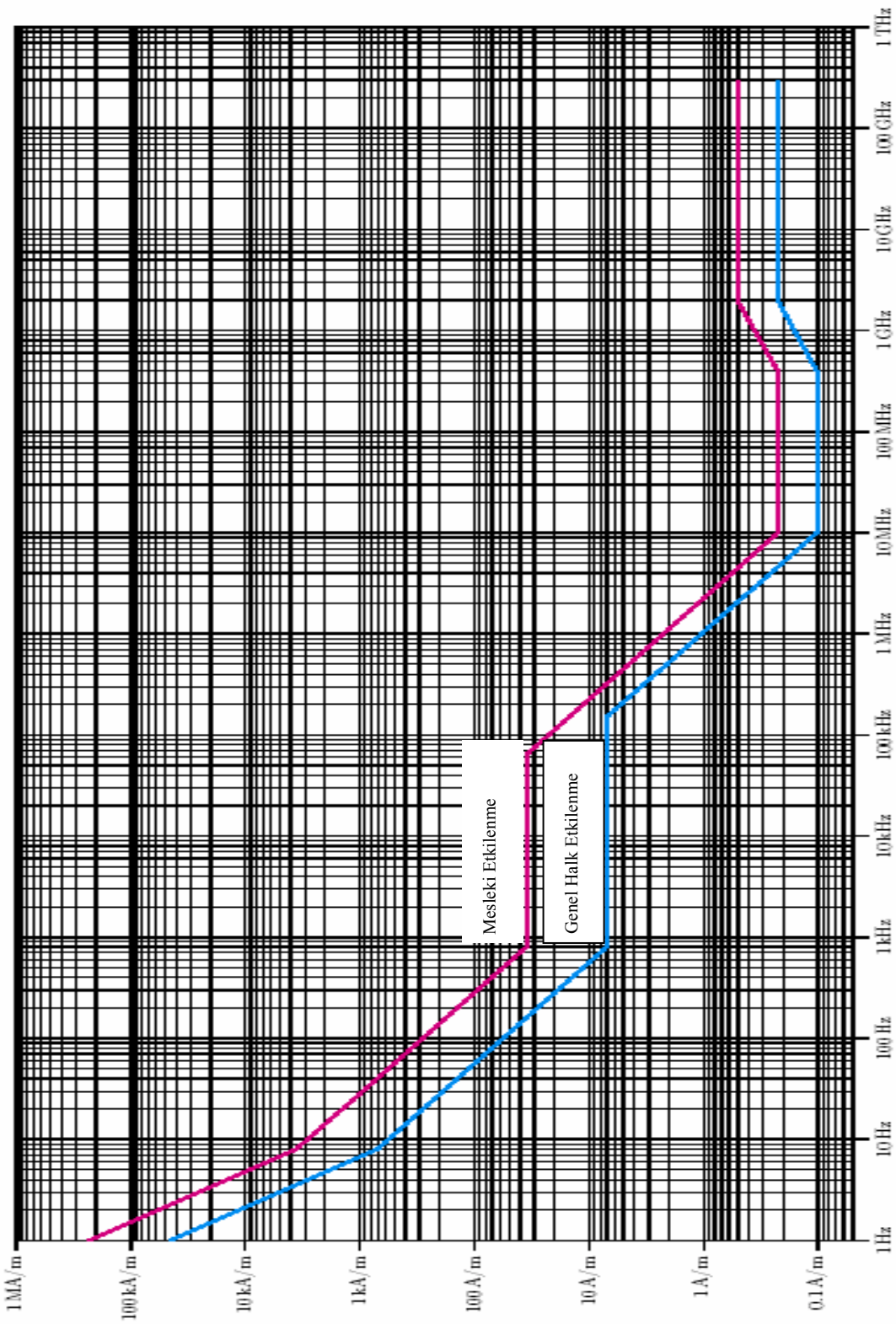
Tablo 5.23 Ortadalga Radyo, FM Radyo ve TV bandları, Genel Halk Sağlığı İçin Etkilenme Sınır Değerleri [38]

Frekans Bölgesi (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti V/m (rms)	Magnetik Alan Şiddeti A/m (rms)	Eşdeğer Düzlemsel Dalga Güç Yoğ. W/m^2	Eşdeğer Düzlemsel Dalga Güç Yoğ. mW/cm^2
1 (GM)	87	0,23	-	-
100 (FM)	27,5	0,073	2	0,2
200 (VHF)	27,5	0,073	2	0,2
500 (UHF)	30,746	0,083	2,5	0,25
600 (UHF)	33,68	0,097	3	0,3
700 (UHF)	36,379	0,098	3,5	0,35

Tablo 5.24 GSM Bandları Genel Halk Sağlığı İçin Etkilenme Sınır Değerleri [38]

Frekans Bölgesi (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti V/m (rms)	Magnetik Alan Şiddeti A/m (rms)	Eşdeğer Düzlemsel Dalga Güç Yoğ. W/m^2	Eşdeğer Düzlemsel Dalga Güç Yoğ. mW/cm^2
900	41,25	0,111	4,5	0,45
1800	58,34	0,157	9	0,9
1900	59,93	0,161	9,5	0,95

ICNIRP kılavuzunda yayınlanan zamanla değişen magnetik alan şiddeti için referans değerler Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 ICNIRP Klavuzunda Yayınlanan Zamanla Değişen Magnetik Alan Gücü için Referans Değerler [46]

5.9 Elektrik İletim Hatlarından Kaynaklanan Elektromagnetik Alan Şiddeti ve Türkiye'deki Durum

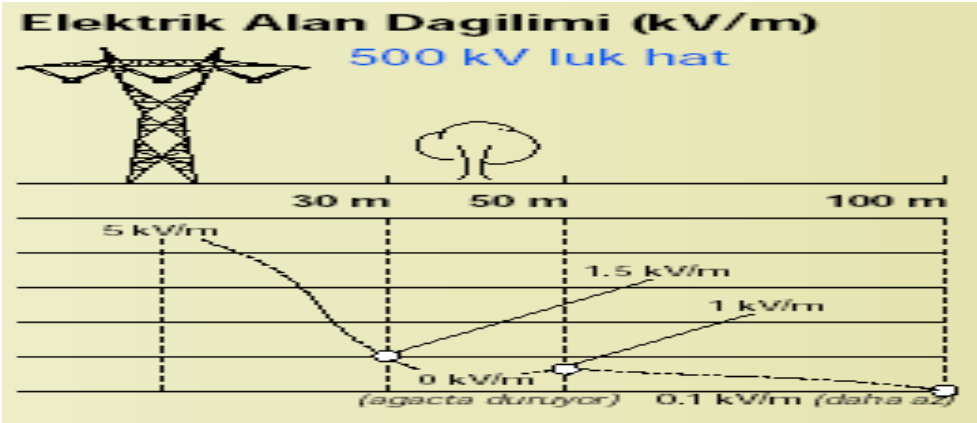
Bugün için dünya genelinde elektrik enerjisinin taşınması için çok farklı yapıda ve kapasitede iletim hatları tesis edilmekte olup, her hattın kendine ait oluşturduğu bir takım elektromagnetik alanlar mevcuttur. Bu kısımda Avustralya ve Türkiye'den iletim hatlarına örnekler vererek mukayese etme imkanı bulacağız.

115 kV'luk iletim hattının çevresinde oluşturduğu magnetik alan değerlerinin Ulusal Çevre Sağlığı Bilimleri Enstitüsü (NIEHS: National Institute of Environmental Health Sciences) tarafından yayınlanan değerleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir [44].

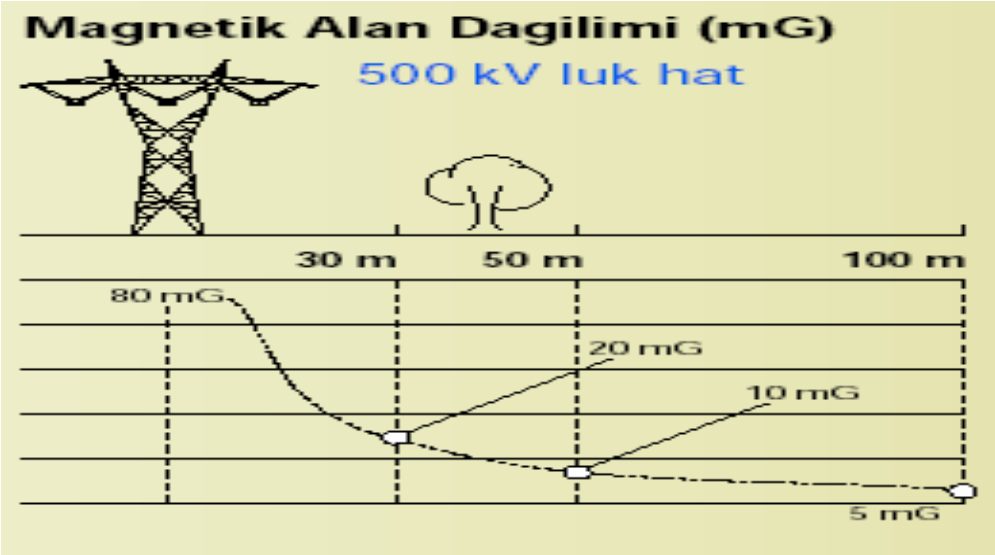
Yer Seviyesinden Yaklaşık Uzaklık	Tahmini Alan (mG)
0 (merkez)	29.7
50 (yolun sağ tarafında)	6.5
100	1.7
200	0.4
300	0.2

Şekil 5.2 NIESH Tarafından Yayınlanan 115 kV'luk İletim Hattının Yakınlarında Oluşan Magnetik Alan Değerleri [44]

Avustralya'daki 500 kV'luk bir iletim hattı çevresinde oluşan elektrik ve magnetik alan değerleri ve hatta olan uzaklıklarla değişimi Şekil 5.3'de ve Şekil 5.4'de gösterilmiştir [45].

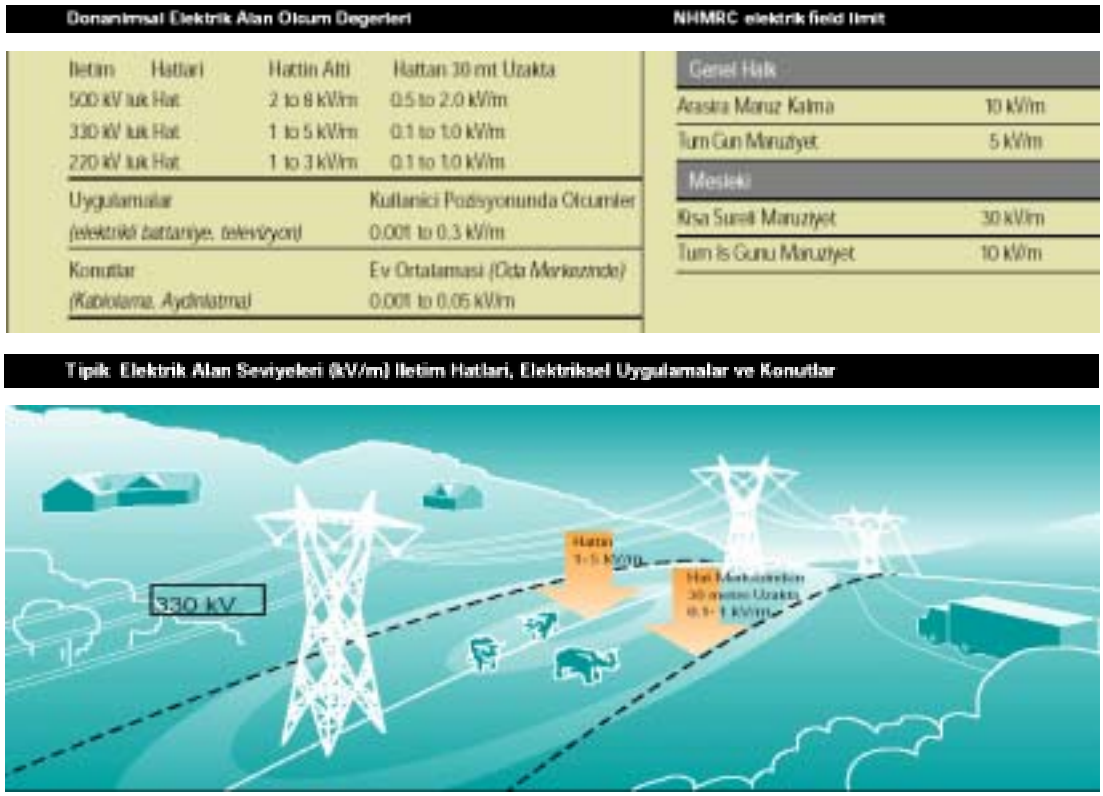


Şekil 5.3 500 kV'luk İletim Hattı Çevresinde Oluşan Elektrik Alan Değerleri [45]



Şekil 5.4 500 kV'luk İletim Hattı Çevresinde Oluşan Magnetik Alan Değerleri [44]

Avustralya'da yapılan ve Ulusal Sağlık ve Tıbbi Araştırma Konseyi (NHMRC: National Health and Medical Research Council) tarafından yayınlanan ve maruz kalma sınırlarının verildiği kılavuzdaki değerler Şekil 5.5'de ve Şekil 5.6'de gösterilmiştir [45].

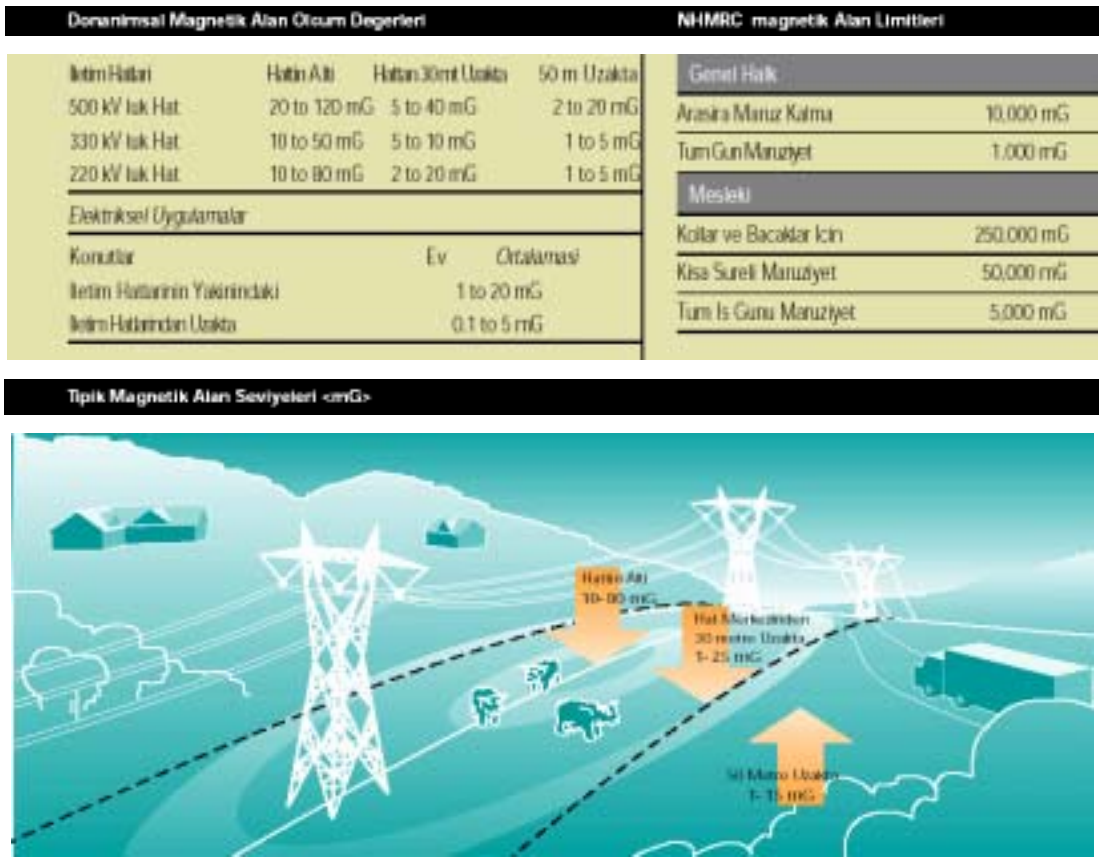


Donanımsal Elektrik Alan Ölçüm Değerleri		
İletim Hatları	Hattın Altı	Hattan 30 mt Uzakta
500 kV luk Hat	2 to 8 kV/m	0.5 to 2.0 kV/m
330 kV luk Hat	1 to 5 kV/m	0.1 to 1.0 kV/m
220 kV luk Hat	1 to 3 kV/m	0.1 to 1.0 kV/m
Uygulamalar (elektrikli battaniye, televizyon)	Kullanıcı Pozisyonunda Ölçümler	0.001 to 0.3 kV/m
Konutlar (Kablolama, Aydınlatma)	Ev Ortalaması (Oda Merkezinde)	0.001 to 0.05 kV/m

NHMRC elektrik field limit	
Genel Halk	
Aralıklı Maruz Kalma	10 kV/m
Tüm Gün Maruziyet	5 kV/m
Mesleki	
Kısa Süreli Maruziyet	30 kV/m
Tüm İş Günü Maruziyet	10 kV/m

Tipik Elektrik Alan Seviyeleri (kV/m) İletim Hatları, Elektriksel Uygulamalar ve Konutlar

Şekil 5.5 Çeşitli İletim Hatları Çevresinde Oluşan Elektrik Alan Değerleri ve Maruz Kalma Seviyeleri (NHMRC) [45]



Şekil 5.6 Çeşitli İletim Hatları Çevresinde Oluşan Elektrik Alan Değerleri ve Maruz Kalma Seviyeleri (NHMRC) [45]

Ülkemizde ise, elektrik genel olarak iki çeşit hatla taşınmaktadır. Yüksek gerilim iletim hatları (Türkiye'de 380 kV ve 154 kV); üretim merkezlerindeki elektrik enerjisini tüketim merkezlerindeki ana trafo merkezlerine taşırlar. Dağıtım hatları ise; trafo merkezlerindeki elektrik enerjisini daha düşük gerilimli trafolara ve/veya evlerimize ve iş yerlerimize ulaştırırlar. Ülkemiz enterkonnekte sistemi 50 Hz frekansında alternatif akımla işletilmektedir.

İletim ve dağıtım hatları ve bu hatlar üzerindeki trafo merkezleri de çevrelerinde elektromagnetik alanlar oluştururlar. Ülkemizde enerji iletim hatlarından kaynaklı elektrik ve magnetik alanlara ilişkin özel bir standart bulunmamaktadır. Diğer taraftan yüksek gerilim hatlarına güvenli yaklaşımın sağlanabilmesi için, 22 Kasım 1978 tarih ve 16466 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren "Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'nde emniyetli yaklaşım mesafe değerleri tanımlanmıştır. Bu yönetmeliğin 46. maddesinde yer alan yatay ve düşey mesafeler baz alınmak kaydı ile hattın tesisine izin verilmektedir. Anılan Yönetmelikteki iletim hatlarına güvenli yaklaşım

mesafeleri, sadece can ve mal güvenliği açısından tanımlanmış düşey ve yatay mesafelerdir.

Son yıllarda elektriğin iletimi ve dağıtımına bağlı elektrik ve magnetik alanlara maruz kalmanın biyolojik etkileri hakkında kaygılar ortaya çıkmaya başlamıştır. 1989 yılında ABD, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü tarafından yayınlanan bir durum raporunda; "güç frekansında oluşan alanlara maruz kalmanın sağlığa zarar verici olarak nitelendirilmesi için yeterli bilimsel kanıt olmadığı" ve "bu alanlara maruz kalmayla ilgili güvenilir limitler oluşturmak için daha fazla araştırmaya gerek olduğu yönünde bir fikir birliği olduğu" belirtilmektedir.

Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından, Elektrik İletim Hatlarını (EİH) da içine alan bir standart yayımlanmıştır. Bu standartta belirtilen bazı referans seviyeler Tablo 5.25'de gösterilmiştir [39].

Tablo 5.25 TS ENV 50166-1/Nisan 1996 İnsanların Elektromagnetik Alanlara Maruz Kalması- Düşük Frekanslar (0-10 kHz) Genel Halk Sağlığı için Elektrik ve Magnetik Alanlarla İlgili Referans Seviyeleri [39]

Frekans (Hz)	Elektrik Alanı	Frekans (Hz)	Magnetik Alan
0 – 0,1	14 kV/m	0 – 0,1	0,04 T
0,1 – 60	10 kV/m	0,1 – 1,15	0,028 T
60 – 1500	600/f kV/m	1,15 – 1500	32/f mT (0,64 mT 50 Hz'de)
1500 - 10000	0,4 kV/m	1500 - 10000	0,021 mT

Kol ve bacaklar için daha yüksek değerlere izin verilir.

0-0,1 Hz için;	100 mT
0,1-7,1 Hz için;	71 mT
7,1-1500 Hz için;	500/f mT
1500-10000 Hz için;	0.33 mT

Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) Kılavuzu'ndaki sınır değerler Tablo 5.26'da, ICNIRP kılavuzunda verilen elektrik ve magnetik alan frekansı 10 GHz'e kadar olan kamusal alanların zamanla değişim sınırları Tablo 5.27'de verilmektedir.

Tablo 5.26 ICNIRP Klavuzunda verilen Elektrik ve Magnetik Alanların Kamusal Alanlarla İlgili Referans Değerleri [46]

Frekans Aralığı	E – Alan Gücü (V/m)	H – Alan Gücü (A/m)	B – Alan (μT)	Güç Yoğ. (W/m^2)
1 Hz'e kadar	---	$3{,}2x10^4$	$4x10^4$	---
1 – 8 Hz	10000	$3{,}2x10^4 / f^2$	$4x104 / f^2$	---
8 – 25 Hz	10000	4000/f	5000/f	---
0,025 – 0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	---
0,8 – 3 kHz	250/f	5	6,25	---
3 – 150 kHz	87	5	6,25	---
0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	---
1 – 10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	0,92/f	---
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1{,}375xf^{1/2}$	$0{,}0037xf^{1/2}$	$0{,}0046xf^{1/2}$	f/200
2 – 300 GHz	61	0,16	0,2	10

Tablo 5.27 ICNIRP Klavuzunda verilen Elektrik ve Magnetik Alan Frekansı 10 GHz'e Kadar Olan Kamusal Alanların Zamanla Değişim Sınırları [46]

Frekans Aralığı	Akım Yoğ. (Baş ve Gövde) mA/m^2	Bütün Vücut Ort. SAR (W/kg)	Baş ve Gövde İçin SAR (W/kg)	Parmaklar İçin SAR (W/kg)
1 Hz'e kadar	8	---	---	---
1 - 4 Hz	8/f	---	---	---
4 Hz – 1 kHz	2	---	---	---
1-100 kHz	f/500	---	---	---
100 kHz – 10 MHz	f/500	0,08	2	4
10 MHz – 10 GHz	---	0,08	2	4

Çevre ve Orman Bakanlığı EIH ile ilgili olarak; ülkemizde, Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) Kılavuzunda verilen sınır değerlerin uygulanması görüşünü taşımaktadır.

5.10 Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromagnetik Alan Şiddeti ve Türkiye'deki Durum

Dünyada insan vücudu ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon-elektromagnetik kirlilik arasındaki ilişkiler ve etkilenmelerle ilgili çalışmalar uzun süredir devam etmektedir. Elektromagnetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler de vardır.

Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection- Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma

Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler bir çok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. ICNIRP Kılavuzunda (ICNIRP Guidelines) yer alan çalışmalar üniversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis biyolog, fizikçi, epidemiyolojist ve ilgili başka bilim adamlarından oluşan disiplinler arası bir ekip tarafından yürütülmüştür.

Amerika Birleşik Devletleri'nde bu sınır değerler FCC (Federal Communications Commission – Federal Komünikasyon Komisyonu) tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) ve ANSI (American National Standarts Institute – Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır. IEEE/ANSI standartları da sınır değerlerin belirlenmesinde yaygın olarak kabul gören ve temel alınan değerlerdir.

Elektromagnetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda oluşturulmuş sınır değerler frekansa göre değişiklik gösterir. Örneğin baz istasyonlarının çalışma frekanslarını içine alan 400-2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için ICNIRP Kılavuzu'nda yer alan sınır değerler elektrik alan şiddeti için 1,375 $f^{1/2}$ V/m (f = frekans (MHz)); magnetik alan şiddeti için 0,0037 $f^{1/2}$ A/m ve elektromagnetik güç yoğunluğu için f/200 W/m^2 ifadeleriyle verilmiştir. Bu ifadelerle verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir. Bunun yanında IEEE ve FCC standartlarında yer alan güç yoğunluğu üst sınırı 300-1500 MHz frekans aralığında f/150 W/m^2, 1500-100.000 MHz frekans aralığında 10,0 W/m^2 olarak verilmiş olup, bu ifadelerle verilen sınır değerler otuz dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir.

Buna göre genel yaşam alanlarında, GSM900 ve DCS1800 sistemleri için kontrolsüz etkilenme için sınır değerler Tablo 5.28'de verilmiştir.

Tablo 5.28 900 ve 1800 MHz'de Kontrolsüz Etkilenme İçin ICNIRP, IEEE ve FCC Standartlarının Karşılaştırması

900 MHz için sınır değerler	**ICNIRP**	**IEEE/FCC**
Elektrik Alan Şiddeti	41,25 V/m	---
Magnetik Alan Şiddeti	0,111 A/m	---
Güç Yoğunluğu	4,5 W/m^2	6,0 W/m^2
1800 MHz için sınır değerler	**ICNIRP**	**IEEE/FCC**
Elektrik Alan Şiddeti	58,33 V/m	---
Magnetik Alan Şiddeti	0,157 A/m	---
Güç Yoğunluğu	9,0 W/m^2	10,0 W/m^2

Yukarıda verilen sınır değerlerin dışında;

İngiltere'de sınır değerler: 900 MHz'te 5,7 W/m^2 (46,4 V/m) ve 1800 MHz'te 10,0 W/m^2 (61,4V/m)'dir.

İsviçre, genel olarak ICNIRP standardını kabul etmekle birlikte tek bir baz istasyonu anteni için sınır değeri 900 MHz'te 0,042 W/m^2 (4,0 V/m) ve 1800 MHz'te 0,095 W/m^2 (6,0 V/m) olarak belirlemiştir.

İtalya, günde 4 saatin altında maruz kalınan durumlar için sınır değer olarak 1,0 W/m^2 (19,4 V/m), 4 saatin üstü için 0,1 W/m^2 (6,1 V/m) olarak belirlemiştir. Ayrıca, İtalya'da yerel yönetimlere bu sınır değerleri düşürme yetkisi de verilmiştir.

Rusya'da sınır değerler: 900 MHz'te 0,024 W/m^2 (3,0 V/m)'dir [10].

Çin'de sınır değerler: 900 MHz'te 0,066 W/m^2 (5,0 V/m)'dir.

Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.7.2001 tarihli resmi gazatede yayınlanan "10 kHz - 60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromagnetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik" ile Türkiye'de geçerli olan sınır değerleri belirlenmiştir. Bu yönetmelikte yer alan sınır değerlerin belirlenmesinde ICNIRP Kılavuzu'nda yer alan sınır değerler esas olarak alınmış olup, buna ek olarak her baz istasyonu için ayrıca sınırlama getirilmiştir.

Buna göre tek bir cihaz için 400-2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için Telekomünikasyon Kurumu'nun yönetmeliğinde yer alan sınır değerler, elektrik alan şiddeti için 0,341 $f^{1/2}$ V/m (f = frekans (MHz)), magnetik alan şiddeti için 0,0009 $f^{1/2}$ A/m ve güç yoğunluğu için f/3200 W/m^2 ifadeleriyle verilmiştir.

Verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir. Bu ifadeler kullanılarak Türkiye'de 900 MHz ve 1800 MHz'de kontrolsüz etkilenme için uyulması gereken sınır değerler Tablo 5.29'de verilmiştir.

Tablo 5.29 900 ve 1800 MHz'de Türkiye'de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

FREKANS	**900 MHz**		**1800 MHz**	
	Tek Bir Cihaz İçin Sınır Değer	Ortamın Toplam Sınır Değeri	Tek Bir Cihaz İçin Sınır Değer	Ortamın Toplam Sınır Değeri
Elektrik Alan Şiddeti	10,23 V/m	41,25 V/m	14,47 V/m	58,34 V/m
Magnetik Alan Şiddeti	0,027 A/m	0,111 A/m	0,038 A/m	0,157 A/m
Güç Yoğunluğu	0.28 W/m^2	4,5 W/m^2	0.56 W/m^2	9,0 W/m^2

Kontrollü ve kontrolsüz etkilenme için sınır değerler belirlenirken mesleği gereği elektromagnetik enerjinin etkisinde kalanların konu ile ilgili olarak bilgilendirilmiş ve gerekli önlemleri almış olabilecekleri varsayımı yapılmış ve genel yaşam alanlarında insanların kendi bilgi ve kontrolleri dışındaki etkilenmeleri düşünülerek kontrolsüz alanlar için sınır değerlere ek olarak 5 kat koruma faktörü eklenmiştir.

GSM900 ve DCS1800 sistemleri için kontrollü etkilenme için sınır değerler Tablo 5.30'de verilmiştir.

Tablo 5.30 900 ve 1800 MHz'de Kontrollü Etkilenme İçin ICNIRP, IEEE ve FCC Standartlarının Karşılaştırması

900 MHz için sınır değerler	**ICNIRP**	**IEEE/FCC**
Elektrik Alan Şiddeti	90,0 V/m	---
Magnetik Alan Şiddeti	0,24 A/m	---
Güç Yoğunluğu	22,5 W/m^2	30,0 W/m^2
1800 MHz için sınır değerler	**ICNIRP**	**IEEE/FCC**
Elektrik Alan Şiddeti	127,28 V/m	---
Magnetik Alan Şiddeti	0,34 A/m	---
Güç Yoğunluğu	45,0 W/m^2	50,0 W/m^2

Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) Kılavuzu'ndaki sınır değerleri Tablo 5.31'de verilmektedir. Mülga Çevre Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı, İçişleri Bakanlığı,Üniversiteler ve diğer ilgili tüm tarafların katıldığı toplantılar sonucunda Telekomünikasyon Kurumu tarafından baz istasyonlarının da içinde yer aldığı "10 kHz-60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromagnetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında

Yönetmelik" hazırlanarak 12 Temmuz 2001 tarih 24460 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Bu Yönetmelik ile Türkiye'de geçerli olan sınır değerler belirlenmiştir. Yönetmelikte yer alan sınır değerlerin belirlenmesinde ICNIRP Kılavuz'unda yer alan sınır değerler esas alınmıştır. Telekomünikasyon Kurumu tarafından yayımlanan Yönetmelikteki sınır değerler Tablo 5.31'de verilmektedir.

Tablo 5.31 10 kHz-60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromagnetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik Sınır Değerleri

Frekans Aralığı (MHz)	E-Alan Şiddeti (V/m)		H-Alan Şiddeti (A/m)		B-Magnetik Akı Yoğunluğu (μT)		Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu (W/m^2)	
	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın Toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın Toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın Toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın Toplam limit değeri
0.010-0.15	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15-1	22	87	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
1-10	$22/f^{1/2}$	$87 f^{1/2}$	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
10-400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400-2000	$0.341 f^{1/2}$	$1.375 f^{1/2}$	$0.0009 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.001 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	f/3200	f/200
2000-60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

Söz konusu Yönetmelikte, ICNIRP Kılavuzuna ek olarak, cihaz başına sınır değerler oluşturulmuş olup, cihaz başına kabul edilen limit değerler sınır değerin ¼'üne karşılık gelmektedir. Buna göre, tek bir cihaz için 400-2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için Telekomünikasyon Yönetmeliği'nde yer alan sınır değerler; elektrik alan şiddeti için 0.341 $f^{1/2}$ V/m (f:frekans, MHz olarak), magnetik alan şiddeti için 0.0009 $f^{1/2}$ A/m ve güç yoğunluğu için f/3200 W/m^2 ifadesiyle verilmiştir. Bu ifadeler kullanılarak Türkiye'de 900 MHz ve 1800 MHz'de kontrolsüz etkilenme için uyulması gereken sınır değerler aşağıda Tablo 5.29'da verilmiştir.

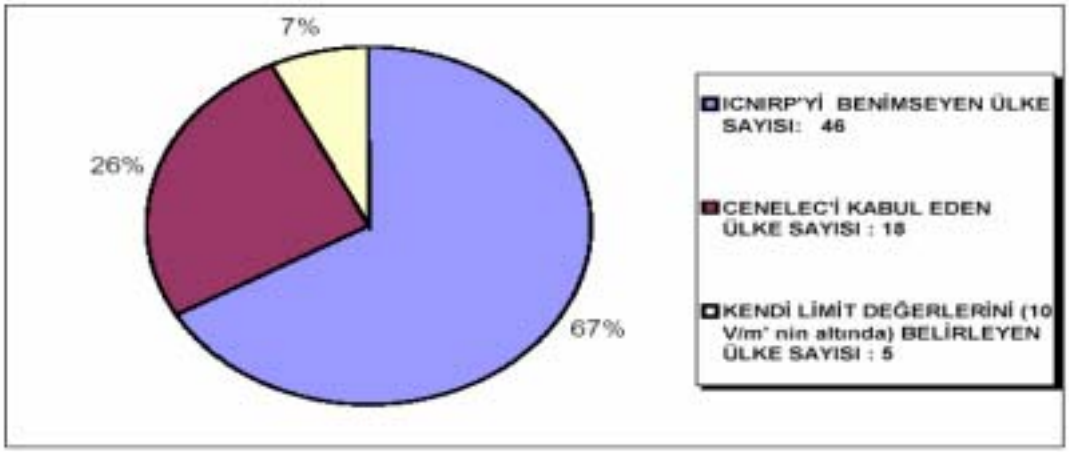
Yönetmelikte yer alan limit değerler ve Güvenlik Mesafesi hesabı kullanılmak suretiyle, sabit telekomünikasyon cihaz ve sistemlerinin civarında insanların emniyet ve güvenle sürekli bulunabilecekleri güvenli alanlar belirlenebilmektedir. Telekomünikasyon Kurumunca bir sabit telekomünikasyon cihaz veya sistemi kurma izni ancak ve ancak insanların yaşadığı mekanlar ile tüm bina ve bahçe müştemilatıyla birlikte okul öncesi ve temel eğitim kurumlarının güvenli alanda bulunduğundan emin olunması halinde verilmektedir.

Anılan Yönetmeliğin 5. maddesinin son bendinde yer alan "... ancak yer seçimi yapılırken, Kurum, Yerel Çevre Kurullarının görüşünü alır. Bu kurullar konu hakkındaki görüşlerini, Kurum talebi üzerine; gerekçeleri ile birlikte bir hafta içinde bildirir." hükmüne dayanarak Yerel Çevre Kurullarında yürütülecek çalışmalara ilişkin usul ve esaslar mülga Çevre Bakanlığı ve Telekomünikasyon Kurumu arasında imzalanan protokol ile belirlenmiş ve bu hususlar, 22 Ağustos 2001 tarih ve (2001/19) sayılı Bakanlığımız Genelgesi ile gereğinin yapılması için valiliklere gönderilmiştir.

Baz istasyonlarının Yönetmelikte verilen sınır değerlere uygun olup olmadığına dair ölçümler Telekomünikasyon Kurumu tarafından veya kurumun yetki verdiği kurum ve kuruluşlar tarafından yapılmaktadır.

Ortamın toplam elektrik alan şiddeti limit değerinin aşılması halinde herhangi bir süre verilmeden limit aşımına neden olan sabit telekomünikasyon cihazının (baz istasyonunun) faaliyeti durdurulmaktadır.

Sağlık açısından etkilerine yönelik değerlendirmeler 29.05.2000 tarih ve 7384 sayılı "İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon – Elektromagnetik Kirlilik" konulu Sağlık Bakanlığı Genelgesi doğrultusunda yapılmaktadır. Şekil 5.7'de diğer ülkelerde benimsenen elektrik alan sınır değerlerinin ortaya çıkarılmasında benimsedikleri referans kaynaklar ve bu ülkelerin dağılımları gösterilmiştir. Bugün, pek çok ülke elektrik alan sınır değerlerini belirlerken Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) Klavuzu'ndaki sınır değerleri benimsemiş durumdadır.



Şekil 5.7 Elektrik Alan Sınır Değerlerinin Ülkelere Sayılarına Göre Tercih Edilen Referanslarla Dağılımı

5.11 Mesleki Maruziyetler İçin Sınır Değerler

Uluslararası Işınımdan Korunma Birliği (The International Radiation Protection Association, IRPA) NIR ve IEEE tarafından belirlenen standartlardan çıkarılan mesleki ve mesleki olmayan maruziyet limitlerini belirten değerler Tablo 5.32 ve Tablo 5.33'de gösterilmiştir [32,46].

Tablo 5.32 IRPA NIR ve IEEE C95.1 Standartlarından Türetilmiş Mesleki Maruz Kalma Limitleri [36]

Frekans	Elektrik Alan (V/m)	Magnetik Alan (A/m)	Güç Yoğunluğu (mW/cm^2)
<3 kHz	5000	80 (1000 mG)	N/A
3 kHz - 100 kHz	614	1,63	100
100 kHz -1.34 MHz	614	1,63	100
1.34 MHz - 3 MHz	614	1,63	100
3 MHz - 30 MHz	1842 / f	4,89 / f	$900 / f^2$
30 MHz - 100 MHz	61,4	0,163	1
100 MHz - 300 MHz	61,4	0,163	1
300 MHz - 3 GHz	N/A	N/A	f / 300
3 GHz - 15 GHz	N/A	N/A	f / 300
15 GHz - 30 GHz	137	0,36	5
30 GHz – 300 GHz	137	0,36	5

Tablo 5.33 IRPA NIR ve IEEE C95.1 Standartlarından Türetilmiş Mesleki Olmayan Maruz Kalma Limitleri [36]

Frekans	Elektrik Alan (V/m)	Magnetik Alan (A/m)	Güç Yoğunluğu (mW/cm^2)
<3 kHz	5000	80 (1000 mG)	N/A
3 kHz - 100 kHz	614	1,63	100
100 kHz -1.34 MHz	614	16,3 / f	100
1.34 MHz - 3 MHz	823,8 / f	16,3 / f	$180 / f^2$
3 MHz - 30 MHz	823,8 / f	16,3 / f	$180 / f^2$
30 MHz - 100 MHz	27,5	$158,3\ f^{1,668}$	0,2
100 MHz - 300 MHz	27,5	0,0729	0,2
300 MHz - 3 GHz	N/A	N/A	f / 1500
3 GHz - 15 GHz	N/A	N/A	f / 1500
15 GHz - 30 GHz	N/A	N/A	f / 1500
30 GHz – 300 GHz	N/A	N/A	5

5.12 Türetilmiş Limitler

Türetilmiş limitler; temel limitlerin zor ölçülebilir ya da elde edilebilir olması nedeniyle türetilmiş limitler belirlenmiştir. Türetilmiş limitler belli frekanslarda elektrik, magnetik alan şiddetleri ya da güç yoğunluğudur. Türetilmiş limitler ya matematiksel modellerle gerçeklenen hesaplarla, ya da laboratuarda belli frekanslarda gerçeklenen deney sonuçlarının uyarlaması ile elde edilir. Ortamdaki alanlardan maksimum kuplajla güç soğurulduğu varsayımına dayandığından en kötü

hal analizi yapılmış olur. Türetilmiş limitler vücudun tamamı üzerinden ortalama alınarak elde edilse de yerel SAR değerlerinin aşılıp aşılmadığı da kontrol edilir. [36]

Tablo 5.34 ICNIRP Lüretilmiş Limitleri (işyerleri için) [46]

Frekans	Elektrik Alan (V/m)	Magnetik Alan (A/m)
1 Hz'e kadar	---	$1{,}63x10^5$
1 – 8 Hz	20000	$1{,}63x10^5/f$
8 – 25 Hz	20000	$2x10^4/f$
25 – 820 Hz	500/f	20/f
820 Hz – 65 kHz	610	24,4
65 kHz – 1 MHz	610	1,6/f
1 MHz – 10 MHz	610/f	1,6/f
10 MHz – 400 MHz	61	0,16
400 MHz – 2 GHz	$3xf^{1/2}$	$0{,}008xf^{1/2}$
2 GHz – 300 GHz	137	0,36

Tablo 5.35 ICNIRP Türetilmiş Limitleri (genel halk için) [46]

Frekans	Elektrik Alan (V/m)	Magnetik Alan (A/m)
1 Hz'e kadar	---	$3{,}2x10^4$
1 – 8 Hz	10000	$3{,}2x10^4/f$
8 – 25 Hz	10000	$4000/f^2$
25 – 800 Hz	250/f	4/f
800 Hz – 3 kHz	250/f	5
3 kHz – 150 kHz	87	5
150 kHz – 1 MHz	87	0,73/f
1 MHz – 10 MHz	$87xf^{1/2}$	0,73/f
10 MHz – 400 MHz	28	0,073
400 MHz – 2 GHz	$1{,}375xf^{1/2}$	$0{,}0037xf^{1/2}$
2 GHz – 300 GHz	61	0,16

ICNIRP türetilmiş limitleri Şekil 5.34 ve 5.34 de verilmiştir. Şekil 5.34'de işyerleri için farklı frekanslardaki sınır değerler elektrik ve magnetik alanlar cinsinden verilmiştir. Burada işyeri tanımı olarak; günün belli bir süresinde (6-8 saat) sadece yetişkinlerin bulunduğu ve bulunanların da elektromagnetik etkilerin riskleri konusunda bilgi sahibi olduğu ve önlem alındığının varsayıldığı yerler kastedilmektedir. Oysa, Şekil 5.35'de verilen türetilmiş seviyeler genel halk içindir. Genel halk deyimi, elektromagnetik etkilere 24 saat kesintisiz maruz kalındığı okul, ev, hastane, yol, park, vb yerlerdeki her yaşta ve cinsiyetteki tehlike ve risklerden habersiz ve önlem almak zorunda olmayan insanlar için kullanılmaktadır. Bu nedenle genel halk için sınırlar, işyerleri için olanlardan daha sıkı ve düşük seviyelidir. Bu

durum Şekil 5.34 ve 5.35'de aynı frekans bölgesindeki alan değerleri karşılaştırıldığında açıkça görülmektedir.

Türetilmiş limitlerde işyerleri ve genel halk için güvenlik faktörleri arasında frekansa göre de değişiklikler vardır:

1- 1 kHz'e kadar çok düşük frekanslarda 50Hz ve 60 Hz şebeke frekanslarında 10 kV/m ve 8.5 kV/m olan işyerleri limitleri genel halk için yarıya düşürülmüş ve 5 kV/m ile 4.2 kV/m olarak verilmiştir.

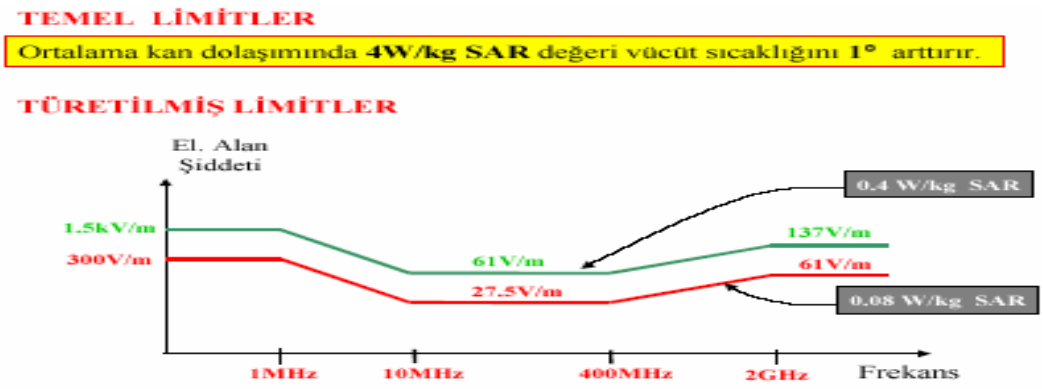
2- 100 kHz'e kadar olan düşük frekanslarda işyerleri ve genel halk magnetik alan limitleri arasında 5 kat güvenlik payı vardır.

3- 100 kHz ile 10 MHz arasında genel halk için verilen magnetik alan limitleri 1988 IRPA limitlerine göre bir miktar yükseltilmiştir. Bunun nedeni, 10 MHz'in altında şok, yanma ve yüzey yük etkisi gibi etkilerin ihmal edilebilir olmasıdır.

4- 10 MHz ile 10 GHz arasında genel halk için verilen türetilmiş limitler ile işyerleri için verilenler arasında 2,2 kat fark vardır. Bu ise SAR değerleri arasındaki 5 kat olarak verilen güvenlik payının (güç, alanın karesi ile orantılı olduğundan) kareköküdür.

5- 10 GHz ile 300 GHz arasında ise temel ve türetilmiş limitler güç yoğunluğu ile belirlendiğinden 5 faktörü aynen korunmuştur.

Şekil 5.8'de grafik halinde verilen değerleri günlük yaşantımızda ve iş hayatımızda baz olarak alabiliriz.



Şekil 5.8 ICNIRP Türetilmiş Limitleri [36]

5.13 Limitlerin Ülkelere Göre Karşılaştırılması

Aşağıda Tablo 5.36'da çeşitli ülkelerin ve kuruluşların standart olarak kabul ettikleri, insanların etkilenebilecekleri sınır ışıma değerleri verilmiştir.

Tablo 5.36 Bazı Ülkelerde Kabul Edilmiş Standart Değerlerin Karşılaştırması [36]

Standart / Ülke	800 – 900 MHz (mW/cm^2)	1800 – 2000 MHz (mW/cm^2)
Avustralya	0,45	0,90
Yeni Zelanda	0,45	0,90
Kanada	0,57	0,90
İngiltere	0,57	1,00
ICNIRP	0,40	0,90
Türkiye	0,45	0,90

Yukarıdaki tablodan da görülebileceği gibi ülkemizde belirlenen değerler uluslararası standartlar ile uygunluk göstermektedir.

5.14 Sonuç

Tüm yapılan çalışmalar, yayınlanan standartlar genel olarak birbirlerinden türetilmiş, bilimsel çalışmalarla geçerliliği ispat edilmiş değerler içermektedir. Kabul edilen standartlar, hükümetlerin politikaları çerçevesinde ülkeden ülkeye farklılıklar gösterebilmektedir. Bilhassa genel halk referans değerleri, maruziyetin engellenmesi daha zor ve maruziyet kontrolsüz olduğu için çalışan kesimin referans değerlerinden daha düşük tutulmuştur.

6. ELEKTRİKLİ CİHAZLARIN ELEKTROMAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

6.1 Giriş

Teknolojideki gelişmeler sayesinde evlerimizde ve işyerlerimizde kullandığımız elektrikli cihazların sayılarında önemli bir artış yaşanmaktadır. Kişiler için, bu cihazların sağlıkları üzerinde olumsuz etki yapabileceği düşüncesi maalesef henüz yaygınlaşmamıştır. Ancak şu bir gerçektir ki; gün boyu kısım kısım ya da topluca beraber yaşadığımız elektrikli cihazlar, güçleri ölçüsünde birer elektromagnetik alan kaynaklarıdır. Bu özelliklerinden dolayı, biyolojik açıdan canlılar üzerinde mutlak etkileri mevcuttur.

Bu bölümde günlük hayatta sıkça karşılaştığımız, ve onların özelliklerine maruz kaldığımız bazı elektrikli cihazlara ait elektromagnetik alan seviyelerine yer verilecektir.

6.2 Genel Bilgi

Bilindiği gibi elektrikle çalışan bütün cihazlar elektrik kaynağına bağlandıklarında çevrelerinde elektromagnetik alanlar oluştururlar. Söz konusu alanların değerleri, bu cihazların yapısına, büyüklüğüne ve üretim şekline göre değişebilmektedir. Örneğin, iki ayrı marka tost makinesinin oluşturacağı magnetik alan değerleri birbirlerinden farklı olabilmektedir.

Eğer elektrikli cihazlarda toprak bağlantısı yoksa, oluşacak elektromagnetik alan değerleri yüksek olmaktadır [37]. Birçok elektrikli cihaz maliyetinin düşürülebilmesi için toprak bağlantısız ya da ucuz malzemelerle imal edilmektedir.

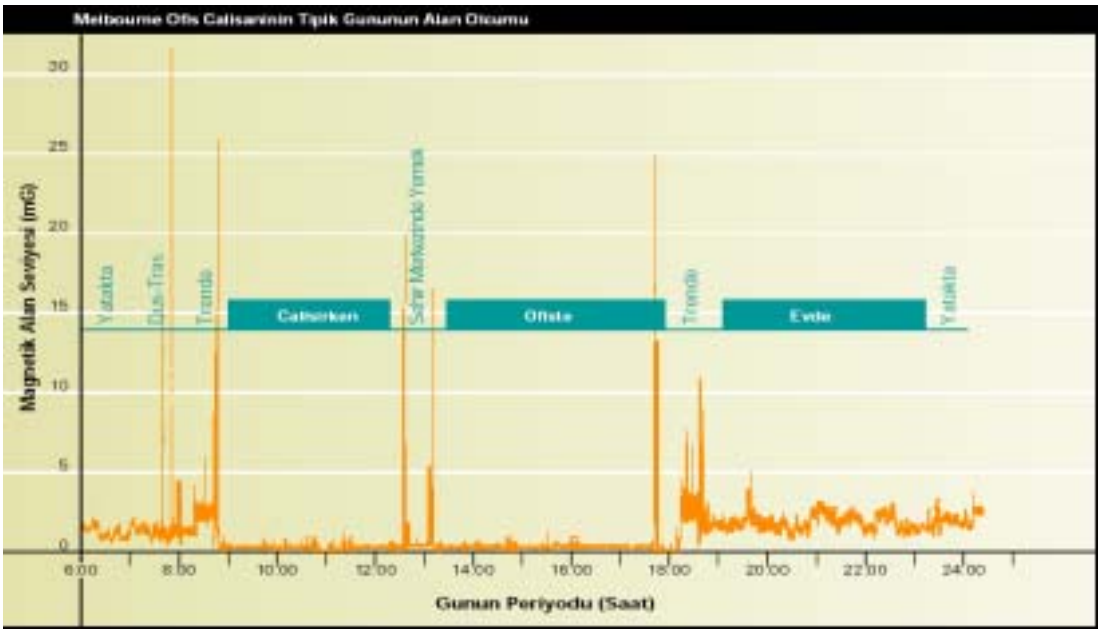
Dolayısıyla bu tip cihazlar elektriğe bağlı kaldıkları sürece çevrelerinde yüksek değerlerde elektromagnetik alanlar oluştururlar.

Bugün, evlerimizde ve iş yerlerimizde bir oda içerisinde oluşabilecek elektromagnetik alanların gerçek değerleri oda içerisindeki kaynakların, sayısına, türüne ve aynı anda kaç tane cihazın çalıştığına bağlıdır [38]. Odaları çevreleyen duvarlar oluşan magnetik alanları engelleyemez. Magnetik alan değeri cihazların bulunduğu oda ile duvarın diğer tarafındaki odada yaklaşık aynı değerdedir.

Elektrikli cihazların oluşturduğu magnetik alan değeri, dış kaynaklı yani yakından geçen bir enerji iletim hattının evlerde oluşturduğu alandan daha yüksektir. Ancak söz konusu cihazların günün büyük bir bölümünde kullanımda olmadıkları da gayet açıktır. Örneğin elektrikli tıraş makineleri, çalıştığı sürece oldukça yüksek değerli bir alan oluşturmaktadır ancak günde on dakikayı geçmeyen bir kullanım karakteristiğine sahiptir.

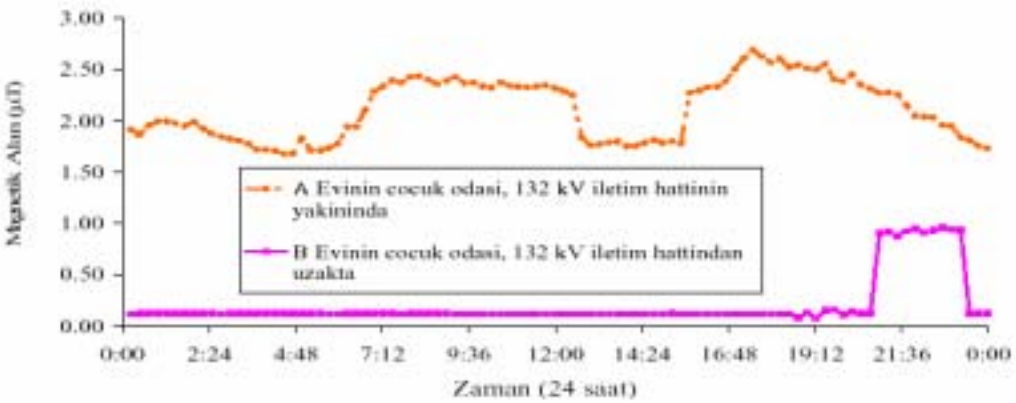
Evlerde oldukça sık kullanılan mikrodalga fırınların oluşturduğu yüksek frekanslardaki magnetik alanların ekranlanması mümkündür. Ancak düşük frekanslı magnetik alanlar için ekranlama söz konusu değildir. Mikrodalgaların dalga boyu yaklaşık 1 cm'den küçüktür. 60 Hz frekansındaki alanın dalga boyu yaklaşık olarak 5000 km'dir. Kısa dalga boyuna sahip dalgalar ince metal malzemelerle tutulabilmektedir [38].

Gün içerisinde maruz kalınan magnetik alan seviyelerinin yaklaşık değerleri Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Bu değereler kontrolsüz maruz kalınan magnetik alan değerlerini göstermektedir. Ölçümler, cep içinde taşınan ölçüm cihazıyla kaydedilmiştir [45].



Şekil 6.1 Çalışan Bir Kişinin Gün Boyu Maruz Kaldığı Yaklaşık Magnetik Alan Seviyeleri [45]

İletim hatlarına farklı uzaklıkta bulunan A ve B evlerinin odalarında oluşan magnetik alana değerleri Şekil 6.2'de gösterilmiştir [47].

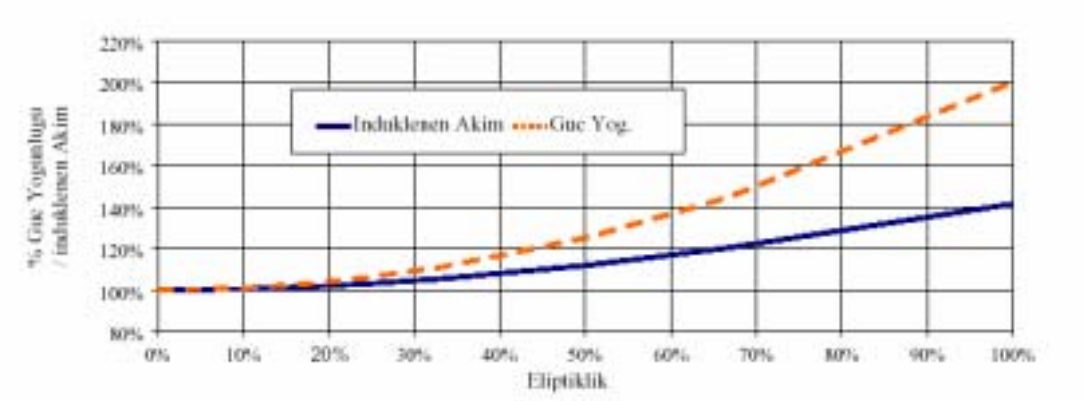


Şekil 6.2 İletim Hatlarına Farklı Uzaklıkta Bulunan A ve B Evinin Yatak Odalarında Oluşan Magnetik Alan Değerleri [47]

Şekilden de anlaşılacağı gibi iletim hatlarının çevrelerinde oluşturdukları elektromagnetik alanların seviyeleri, iletim hattına yaklaştıkça artmakta ve iletim hattı çevresinde yaşanların elektromagnetik alanlara maruz kalmasına sebep olmaktadır.

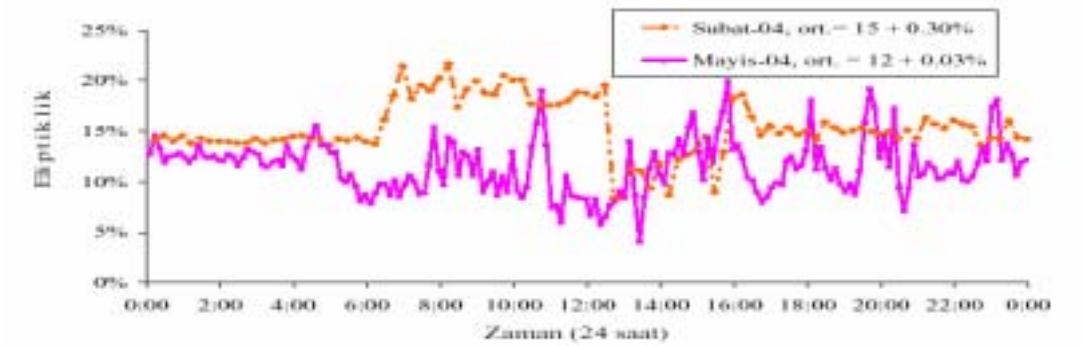
Aralarında 90° faz farkı bulunan, eşit genlikli sinüsoidal elektrik akımlarının oluşturduğu bileşke magnetik alan maksimum değerde oluşacaktır. Oluşan bu alan

hiçbir zaman 0 noktasından geçmeyeceği için vücutta indüklediği akımlarda maksimum değerlerde oluşacaktır. Eliptiklik, magnetik alan değerlerinin büyük ekseninin küçük eksenine oranı olarak hesaplanmıştır. Eliptiklik ile güç yoğunluğu arasındaki ilişki Şekil 6.3'de gösterilmiştir [47].



Şekil 6.3 Güç Yoğunluğu, İndüklenen Akım ve Eliptiklik Arasındaki İlişki [47]

Farklı kaynaklardan oluşan magnetik alan değerlerininin eliptiklik değişimi, farklı mevsimler ve günün farklı saatleri için Şekil 6.4'de gösterilmiştir [47].



Şekil 6.4 Farklı Mevsimler (Kış ve İlkbahar) ve Günün Farklı Saatleri ile Eliptiklik Arasındaki İlişki [47]

6.3 Yapılmış Ölçmeler ve Sonuçları

Evlerde ve işyerlerinde kullanılan elektrikli cihazlara ait, bu cihazların çevrelerinde oluşturdukları elektromagnetik alanların büyüklükleri ile ilgili yayınlanmış pek çok veri mevcuttur. Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü (EPRI), Illinois Teknoloji Araştırma Enstitüsü (ITRI) ve Amerika Çevre Kurumu (EPA)'nın verileri ile oluşturulmuş bilgiler Ek-C'de verilmiştir.

6.3.1 Evde Yapılmış Ölçümler

Yapılmış farklı araştırmalar sonucunda yayınlanmış değerler Tablo 6.1 ve 6.2'de gösterilmektedir. Tablo 6.1'de en çok kullanılan elektrikli aletlerin magnetik alan seviyeleri, Tablo 6.2'de ise daha farklı uzaklıklarda ölçülmüş alan seviyeleri mG cinsinden verilmiştir [38].

Tablo 6.1 Elektrikli Aletlerin mG Cinsinden Magnetik Alan Değerleri [38]

	3 cm	30 cm	100 cm
Elektrikli Battaniye	2 – 80	-	-
Çamaşır Makinesi	8 – 400	2 – 30	0,1 – 2
Televizyon	25 – 500	0,4 – 20	0,1 – 2
Elektrik Sobası	60 – 2000	4 – 40	0,1 – 2
Mikrodalga Fırın	750 – 2000	40 – 80	3 – 8
Traş Makinesi	150 – 15000	1 – 90	0,4 – 3
Flüoresan Lamba	400 – 4000	5 – 20	0,1 – 3
Saç Kurutma Mak.	60 – 20000	1 – 70	0,1 – 3

Tablo 6.2 Elektrikli Aletlerin mG Cinsinden Magnetik Alan Değerleri [38]

	10 cm	30 cm	90 cm
Kurutma Makinesi	4,8 – 110	1,5 – 29	0,1 – 1
Çamaşır Makinesi	2,3 – 3	0,8 – 3	0,2 – 0,48
Kahve Makinesi	6 – 29	0,9 – 1,2	<0,1
Tost Makinesi	10 – 60	0,6 – 7	<0,1 – 0,11
Ütü	12 – 45	1,2 – 3,1	0,1 – 0,2
Konserve Açacağı	1300 – 40000	31 – 280	0,5 – 7
Mikser	58 – 1400	5 – 100	0,15 – 2
Blender	50 – 220	5,2 – 17	0,3 – 1,1
Elektrikli Süpürge	230 – 1300	20 – 180	1,2 – 18
Taşınabilir Isıtıcı	11 – 280	1,5 – 40	0,1 – 2,5
Saç Kurutma	3 – 1400	<0,1 – 70	<0,1 – 2,8
Tıraş Makinesi	14 – 1600	0,8 – 90	<0,1 – 1,5
Televizyon	4,8 – 100	0,4 – 20	<0,1 – 1,5
Flüoresan Lamba	40 – 123	2 – 32	<0,1 – 2,8
Masa Üstü Lamba	100 – 200	6 – 20	0,2 – 2,1
Elektrikli Testere	200 – 2100	9 – 220	0,2 – 10
Matkap	350 – 500	22 – 31	0,8 – 2

Her iki tablo karşılaştırıldığında aynı uzaklıkta değerler arasında fark olduğu görülmektedir. Bu farkın nedeni, daha önce söz edildiği gibi ölçümü yapılan aletlerin model ve üretim şekillerinin birbirlerinden farklı olmasıdır [38].

HI-3604 Alan Ölçer cihazı ile yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçların verildiği Tablo 6.3'teki değerlerin de yukarıdaki tablolarda verilen değerlerle aynı olmamasının nedeni buna dayanmaktadır.

Alan ölçer cihazla yaptığım ölçümlerde oda sıcaklığı 22 ^{o}C ve bağıl nem oranı % 60 olarak kaydedilmiştir. Tüm ölçüm yapılan cihazlar, standart bir ev yerleşiminde ve genel kullanım şekillerine göre ölçüme tabi tutulmuştur. Alan ölçer cihazı ölçümler sırasında yerden 1,5 m yükseklikte tutulmuş ve skala seçimi otomatik olarak cihaz tarafından gerçekleştirilmiştir. Evde yapılan ölçümlerde; sıva altı tesisatın varlığı göz önünde bulundurulmamıştır.

Tablo 6.3 Evde Kullanılan Çeşitli Cihazlara İlişkin Magnetik Alan Ölçüm Değerleri

	10 cm Uzaklık İçin Magnetik Alan Değeri (mG)	30 cm Uzaklık İçin Magnetik Alan Değeri (mG)	50 cm Uzaklık İçin Magnetik Alan Değeri (mG)
Saç Kurutucu	185	10	4,6
Bulaşık Makinesi	24	4,8	1,8
Ütü	20	3	0,3
Elektrik Süpürgesi	45	9	2,6
Renkli Televizyon	20	6,2	2,2
BilgisayarMonitörü	4,9	2,1	0,6
Mikrodalga Fırın	120	24	12
Alarmlı Saat	140	4,6	1,4
Meyve Sıkacağı	700	2,3	0,9
Elektrikli Ocak	11,5	2,2	0,7
ÇamaşırMakinası	12,3	8,2	5,4

6.3.2 Oyak-Renault Oto. A.Ş. Fabrikasında Yapılan Ölçümler

Oyak-Renault Otomobil Fabrikası'nın Mekanik Atölyesinde yapılan endüstriyel ekipmanlara ait ölçümlerin sonuçları Tablo 6.4, Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da verilmiştir.

Ölçümler yapılırken, hava sıcaklığı 25 ^{o}C ve bağıl nem %65 olarak saptanmıştır.

Fabrikadaki işçiler 3 x 8 vardiya düzeninde, günde ortalama 7,5 saat çalışmaktadır.

Ölçümler yapılırken, HI-3604 Alan Ölçer cihazı yerden 1,5 m yükseklikte ve ölçümü yapılan cihaza göre uygun pozisyonda tutulmuştur. Skalalandırma otomatik olarak cihaz tarafından gerçekleştirilmiştir. Alan seviyelerinin ölçümü için 10 cm, 30 cm ve 50 cm'lik uzaklıklar baz alınmıştır.

Ölçümleri yapılan cihazlara ait krokiler Ek-D'de verilmiştir. Krokiler üzerinde işaretlenmiş gri renkli daireler, ölçümlerin yapıldığı noktaları göstermektedir.

Tablo 6.4 Oyak-Renault Oto. A.Ş.'ndeki Bazı Endüstriyel Ekipmanlara Ait Magnetik Alan Değerleri

	10 cm Uzaklık İçin Magnetik Alan Değeri (mG)	30 cm Uzaklık İçin Magnetik Alan Değeri (mG)	50 cm Uzaklık İçin Magnetik Alan Değeri (mG)
180 kVA'lık Askılı Punta Kaynak Makinesi	215	157	85
210 kVA'lık Askılı Punta Kaynak Makinesi	245	178	100
7.5 kW'lık 3 Fazlı Asenkron Motor	170	123	25
Kaynak Robotu Kontrol Ünitesi 7 kVA	10	5,6	2,8
Elektron Kaynak Makinesi 35 kVA	46,8	26	12,5
OTC DC Kaynak Makinesi 20 kVA	170	136,2	86,4
LUA DC Kaynak Makinesi 14 kVA	150,8	122,1	65,2

Tablo 6.5 Oyak-Renault Oto. A.Ş.'ndeki Bazı Endüstriyel Ekipmanlara Ait Elektrik Alan Değerleri

	10 cm Uzaklık İçin Elektrik Alan Değeri (V/m)	30 cm Uzaklık İçin Elektrik Alan Değeri (V/m)	50 cm Uzaklık İçin Elektrik Alan Değeri (V/m)
180 kVA'lık Askılı Punta Kaynak Makinesi	88,7	57	36
210 kVA'lık Askılı Punta Kaynak Makinesi	114,5	95,2	55
7.5 kW'lık 3 Fazlı Asenkron Motor	34	28	14
Kaynak Robotu Kontrol Ünitesi 7 kVA	5,6	2,5	1,2
Elektron Kaynak Makinesi 35 kVA	180,6	126	40
OTC DC Kaynak Makinesi 20 kVA	170	136,2	86,4
LUA DC Kaynak Makinesi 14 kVA	4,9	2,1	0,6

Tablo 6.6 Oyak-Renault Oto. A.Ş. Fabrika Bölgesindeki Bazı Elektrik ve Magnetik Alan Değerleri

YER	E (EP 105) (V/m)		E (EP 330) (V/m)		H (HP 032) (A/m)		H (HP 102) (A/m)	
	Ort.	Max.	Ort.	Max.	Ort.	Max.	Ort.	Max.
İndüksiyon Makine yanı 40 kW	1,13	1,48	2,50	3,71	0,142	0,241	0,012	0,050
İdari Bina ana giriş kapı önü	0,33	0,52	0,13	0,58	-	-	-	-
Akü Şarj ve Bakım bölgesi	0,01	0,87	0,00	0,90	0,009	0,037	0,003	0,019
20 MVA, 15 kV hücre önü	0,02	0,16	0,03	0,43	0,003	0,131	0,006	0,032

6.3.3 154 kV'luk Boğaz Atlaması Civarında Yapılan Ölçümler

İletim hatlarından kaynaklanan elektromagnetik alanların genlikleri hakkında bilgi edinebilmek ve etkilerini değerlendirebilmek için yapılan ölçümlere ilişkin sonuçlar Tablo 6.7 ve Tablo 6.8'de gösterilmiştir.

Ölçümler yapılırken, hava sıcaklığının 27 ^{o}C ve bağıl nemin %72 olduğu saptanmıştır.

Yapılan ölçümler; İstanbul - Bebek sırtındaki 154 kV'luk Boğaz Atlamasının ilk ayağında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, hattaki iletkenlere olan yaklaşık dik uzaklık 25 m civarında olan noktada yapılmıştır.

Ölçmeler, saat 13:00 - 13:30 arasında yapılmıştır.

Tablo 6.7 154 kV'luk Boğaz Atlaması ve 34,5 kV'luk İletim Hatlarının Elektrik Alan Değerleri

	Hattın Altındaki Elektrik Alan Değeri (V/m)	8 m Uzaklık İçin Elektrik Alan Değeri (V/m)	12 m Uzaklık İçin Elektrik Alan Değeri (V/m)
154 kV'luk Boğaz Atlaması	25 V/m	16	10
34,5 kV'luk İletim Hattı	9	6	4

Tablo 6.8 154 kV'luk Boğaz Atlaması ve 34,5 kV'luk İletim Hatlarının Magnetik Alan Değerleri

	Atlama Hattının Altında Magnetik Alan Değeri (mG)	8 m Uzaklık İçin Magnetik Alan Değeri (mG)	12 m Uzaklık İçin Magnetik Alan Değeri (mG)
154 kV'luk Boğaz Atlaması	1200	900	400
34,5 kV'luk İletim Hattı	650	300	100

Şekil 6.5 Alçak Frekanslar İçin Kullanılan Alan Ölçer Cihazı

Ölçümlerde Kullanılan Probların Karakteristikleri

Cihaz	:	Elektrik Alan Probu
Model	:	EP105
Frekans Aralığı	:	0.1 MHz – 1000 MHz
Prob Duyarlılığı	:	0.05 V/m

Cihaz	:	Elektrik Alan Probu
Model	:	EP330
Frekans Aralığı	:	0.1 MHz – 3000 MHz
Prob Duyarlılığı	:	0.3 V/m

Cihaz	:	Magnetik Alan Probu
Model	:	HP032
Frekans Aralığı	:	0.1 MHz – 30 MHz
Prob Duyarlılığı	:	0.02 A/m

Cihaz	:	Magnetik Alan Probu
Model	:	HP102
Frekans Aralığı	:	30 MHz – 1000 MHz
Prob Duyarlılığı	:	0.02 A/m

Cihaz	:	Holaday ELF Alan Ölçer
Model	:	HI 3604
Frekans Aralığı	:	40 Hz – 1000 Hz
Ölçüm Aralığı	:	1 V/m - 199 kV/m
		0,1 mG - 20 G

6.4 Sonuç

Fabrikada ortamında, 1 MHz'in üzerindeki frekanslarda çalışan tesis ve makine olmadığı ve bu frekansın üzerinde oluşabilecek harmoniklerin genliğinin oldukça zayıfladığı göz önüne alındığında, Tablo 6.9'da çalışanlar için referans sınır değerleri olarak 0,1-1 MHz frekans aralığında kabul edilen elektrik alan şiddeti için 614 V/m ve magnetik alan şiddeti için 1,6 A/m değerlerini alabiliriz.

Bu durumda tüm ölçüm noktaları için ortalama ve maksimum ölçüm değerleri, bu sınır değerlerin altındadır. Ülkemizde de UME'nin (Ulusal Metroloji Enstitüsü) dikkate aldığı ölçüm değeri, ortalama ölçüm değeridir.

Tablo 6.9 Radyofrekans Elektromagnetik Alana Maruz Kalma Referans Değerleri

Maruz Kalma Karakteristiği	Frekans f (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti E (V/m)	Magnetik Alan Şiddeti H (A/m)
Çalışanlar	0.1-1	614	1.6 / f
	> 1-10	614 / f	1.6 / f
	> 10-400	61	0.16
	> 400-2000	$3 \times f^{1/2}$	$0.008 \times f^{1/2}$
	> 2000-300000	137	0.36
Genel Halk	0.1-1	87	$0.23 / f^{1/2}$
	> 1-10	$87 / f^{1/2}$	$0.23 / f^{1/2}$
	> 10-400	27.5	0.073
	> 400-2000	$1.375 \times f^{1/2}$	$0.0037 \times f^{1/2}$
	> 2000-300000	61	0.16

Maksimum değerler, çok kısa süreli ve geçici olduğu için dikkate alınmamaktadır. Dikkate alınmayan bu değerler, çok yüksek olmadığı ve insan sağlığını tehlikeye sokmadığı sürece göz ardı edilebilir.

154 kV'luk Boğaz atlamasına ait hatların etrafında oluşturduğu alan seviyeleri açıkça gözlenebilmektedir. Özellikle magnetik alan değerleri daha önceki bölümlerde verilen iletim hatlarına ait standart değerlerden yüksek bulunmuştur. İletim hatlarının etraflarında oluşturdukları alan seviyeleri, hattın yüklenme durumuna, hava koşullarına ve mevsimsel yüklenme karakteristiklerine bağlı olduğu için, iletim hatları civarında ölçülen alan şiddeti değerlerinin farklılık göstermesi normal karşılanmıştır.

7. ELEKTROMAGNETİK ALANLARDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ

7.1 Giriş

Elektromagnetik alanların sağlığa zararlı etkilerinin ilerde de devam etmesini engellemek için, elektrik enerjisinin iletimi, dağıtımı ve kullanılmasının iyi bir şekilde planlanması gerekir.

Güvenlik Standartları

EM radyasyon kirliliği daha çok gelişmiş bölge ve ülkelerin ciddi bir sorunudur. BM İnsan Çevre Koruma Konferansı elektromagnetik dalga radyasyonunu "kontrol altına alınması gereken" bir kirlilik olarak belirlemiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün Uluslararası EMF Projesi, statik elektrik, magnetik alanlar, düşük frekanslı alanlar, mikrodalga alanları, radyo frekansı konusunda, beliren sağlıkla ilgili endişeleri dile getirmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü ve bazı kuruluşlar ile kimi ülkeler güvenlikli radyo frekansı radyasyonu üzerinde çalışmalar yapmakta ve öneriler geliştirmektedir. Maruz kalınan EMF' nin insan sağlığına olumsuz etki yapıp yapmadığını ve insan yapımı EM alan oluşturan araçların kullanımının güvenli olup almadığını belirleyebilmek için uluslararası çeşitli kılavuzlar ve standartlar geliştirilmiştir. Bu standartlar, bu yenilenebilir etkileri araştıran çeşitli araştırmacı gruplarının bulguları kullanılarak geliştirilmiştir.

Amerikan Ordusu Radar İstasyonlarında 10^{-2} W/cm^2 lik bir değere uzun süre maruz kalmadan sonra herhangi bir yan etki kaydedilmemiştir. NATO da güvenlik sınırı olarak $5x10^{-4}$ W/cm^2 değerini kabul etmiştir. Sovyetlerde maksimum izin verilen miktar 10^{-5} W/cm^2 dir.

Dünya Sağlık Örgütü iyonize olmayan radyasyondan korunma alanında çalışan bir sivil toplum örgütü olarak Uluslararası Non-İyonize Radyasyondan

Korunma Komisyonunu (ICNIRP) resmi olarak tanımıştır. ICNIRP ultraviole radyasyon, görünür ışık, kızılötesi radyasyon, radyo dalgaları ve mikrodalgaları da içine alan tüm elektromagnetik alanlardan etkilenme limitlerini belirleyen uluslararası bir kılavuz hazırlamıştır.

7.2 Alınacak Önlemler

1- Okulların ve çocuk bahçelerinin, magnetik alanların 50-60 Hz frekansta 0.2 μT'yi aştığı bölgelerde kurulmamasına dikkat edilmeli.

2- Yeni evler, var olan yüksek gerilimli iletim hatlarının altındaki alanlara yapılmamalı ya da bu hatlara belirli bir uzaklıkta olmalıdır ki alan seviyesi günde iki saatten fazla 0.2 μT'yi aşmasın.

3- Kurulacak olan yeni iletim ve dağıtım hatları, yerleşim bölgelerinde 0.2 μT'yi aşan alanlar oluşturmayacak şekilde planlanmalıdır.

4- Yeni bürolar ve endüstriyel ortamlar, çalışanlar 0.2 μT'dan yüksek alanlara maruz kalmayacak şekilde düzenlenmelidir [26].

Elektromagnetik alanların seviyesinin ileride düşürülmesini amaçlayan önlemlerin yanı sıra, bugün varolan alanlardan korunabilmek için yapılması gerekenler, dünyada birçok kuruluş tarafından insanlara duyurulmaktadır.

İngiltere'de bir tüketici koruma enstitüsü olan Powerwatch'ın özellikle evlerde kullanılan elektrikli aletlerin oluşturduğu elektromagnetik alanların riskini minimize edebilecek ve her bir alet için ayrı ayrı vermiş olduğu öneriler aşağıdaki gibidir.

1- Ailelerin bebeklerini izlemek için kullandıkları alarm sistemi bebeğin baş uçundan en az 1 metre uzağa yerleştirilmelidir.

2- Yatak odasında bulunan saat ve radyolar yatağa en az 1 metre uzaklıkta kullanılmalıdır.

3- Mutfaklarda kullanılan elektrikli ocaklar çalışırken yüksek seviyede magnetik alan oluşturduğu için, uzakta durulmalıdır.

4- Saç kurutma makinesi çalışırken 15 cm'de 70 mT gibi yüksek değerde bir alan oluşturmaktadır. Oluşan bu alan başa yakın olduğu için, hücre yenilenmesinde rolü olan melatonin hormonunun üretimini etkilemektedir. Melatonin hormonu daha çok akşamları üretildiği için, akşam saat 7:00'den sonra saç kurutma makinesini kullanmamaya dikkat edilmelidir.

5- Elektrikli battaniye topraklı kablolarla kullanılmalı ve yatmadan önce fişi çekilmelidir.

6- Mikrodalga fırınlar 15 cm uzaklıkta 30 mT, 1 m uzaklıkta 2 mT değerinde alanlar oluştururlar. Kullanırken en az 1 m uzaklıkta durulmalı ve çocukların mutfağa girmesi engellenmelidir.

7- Televizyon seyrederken en az 1 m uzaklıkta oturulmalıdır.

8- Elektrik süpürgelerinden yassı tipte olanlar silindir olanlara göre daha yüksek değerde alan oluşturur. Bunun nedeni motor ve sargıların birbirlerine yakın olmasıdır.

9- Çamaşır ve bulaşık makineleri çalışırken yüksek değerde alan oluşturdukları için uzak durulmalıdır.

10- İş yerlerinde kullanılan fotokopi makineleri çalışırken 50 cm uzaklıkta durulmalıdır.

11- Bilgisayarları kullanırken 1 m uzaklıkta oturmaya ve kullanılmadığı zaman ekranı kapatmaya özen gösterilmelidir.[18]

Amerika'da Çevre Koruma Kurulu (EPA), insanların gözlüklerini çerçevesinin plastik olması gerektiğini, metal olması durumunda, çerçevenin radyo ve telsiz telefon dalgaları için anten görevi görerek sinyallerin doğrudan beyne ulaşacağını belirtmektedir.

Ayrıca analog kol saatlerinin tercih edilmemesini, aksi taktirde oluşan magnetik alanların akupunktur noktalarını etkileyeceği konusunda halkı uyarmaktadır [17].

7.3 Ekranlama

Elektriksel ekranlama için mükemmel iletken duvarlar kullanılırken, magnetik ekranlama ferromagnetik malzemelerden oluşan filtrelerle sağlanır. Alüminyum folyodan oluşan ince metal perdeler bile bazen yeterli elektriksel ekranlama sağlayabilir. Kalınlığı t olan kayıplı bir duvar elektromagnetik dalgaları üç şekilde zayıflatır. Birincisi duvardan yansımalardır. İkincisi duvar içindeki zayıflamalar (yutulma), üçüncüsü ise duvar içerisindeki ardışıl yansıma kayıplarıdır [48].

Pratikte şu noktalar önemlidir:

1- Ekranlama elektrik alanın düşük frekanslarda yansıtılması yüksek frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.

2- Ekranlama magnetik alanın düşük frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.

3- Yüksek iletkenlik, yansıma ve yutulmayı pozitif yönde etkiler.

4- Yüksek magnetik geçirgenlik yüksek yutulmaya neden olurken, düşük yansıma oluşturur.

5- Çok düşük frekanslı magnetik kaynakların ekranlanacağı hallerde yüksek magnetik geçirgenlikli malzemeler kullanılır.

6- Ekran kalınlığı arttıkça yutulma artar.

7- Magnetik alan için kalın ekranlara ihtiyaç duyulurken elektrik alan için ince yapılar (folyo kalınlığında) kullanılabilir.

8- Kaynak ile ekran arasındaki uzaklık yansıma özeliklerini değiştirir.

9- Elektrik kaynaklar ekrana yakın, magnetik kaynaklar ekrana uzak yerleştirilmelidir.

Uygulamaya yönelik özel notlar:

1- Ekranlama yapısını tasarlamadan önce, elektrik, magnetik ya da her ikisine de ihtiyaç duyulduğunun belirlenmesi gereklidir (çoğu durumda elektriksel ekranlama gereksinimleri karşılamak için yeterli olmaktadır).

2- Magnetik ekranlama frekansın artması ile yükselir.

3- Elektriksel ekranlama ise belli bir frekansta minimum gösterir.

Sonuç olarak bir ekranlamanın EMC performansı, kullanılan malzemelerin özelliklerine, çalışma frekansına ve dikkate alınan kaynaklara bağlıdır. Ancak, pratikte

1- Girişim kaynağına göre ekranın konumu

2- Farklı ekran parçalarının arasındaki bağlantılar

3- Ekran üzerindeki delikler ve boşluklar ve benzeri başka etkenler de baskın rol oynar.

Magnetik Ekranlama:

Pratik olarak düşük frekanslarda (f < 30 MHz) önemlidir. Magnetik ekranlamada zayıflama frekansla artar. Ekran içindeki direnç mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.

Elektriksel Alan Ekranlama:

Pratik olarak yüksek frekanslarda (f > 30 MHz) önemlidir. Değişik parçalar arasındaki kontak direncinin kalitesi önemlidir (yalıtılmış parçalar anten gibi davranır). Delikler ve açıklıklar frekansa bağımlı olarak önemlidir. Kablo bağlantısı ya da havalandırma nedeniyle bırakılan açıklıklar ekranlamayı etkiler.

7.4 Sonuç

Yukarıda sözü edilen önlemlerle elektrikli cihazların etkileri minimum düzeye indirilebilir ve daha rahat yaşam koşulları elde edilebilir. Elektromagnetik alan kaynaklarının bulunduğu ortamlarda, ekranlama yapılmalı ve elektromagnetik alanların etkileri en aza indirilmelidir.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Elektrik enerjisinin iletimi ve kullanımı sırasında oluşan elektromagnetik alanların çevreye ve insan sağlığına etkileri olduğu tartışılmazdır. Özellikle mesleki zorunluluklar nedeniyle elektromagnetik alanların etkilerinde kalan insanlar, uzun süreli maruziyetler sonucu ciddi sağlık problemleriyle karşı karşıya kalabilirler. İncelenen tüm standartlarda, mesleki maruziyet sınırları genel halk için belirtilen değerlerden yüksek tutulduğu gözlenmektedir.

Bugün, ülkemizde konuya yeterli önem gösterilmemekle birlikte, bir kısım araştırmacılar ve bilim adamlarımız konunun öneminin farkına varmışlardır. Son yıllarda ülkemizde de hatırı sayılır araştırmalar ve projeler bu alanda yapılmakta ve elde edilen sonuçlar yayınlanarak halkımız bilinçlendirilmeye çalışılmaktadır. Ülkemizde yapılan çalışmaların sayısı, teknik ve ekonomik olanaklarımızın arttırılmasıyla daha da artacaktır. TSE ve Telekomünikasyon Kurumu'nun getirdiği standartlar elektromagnetik alanlarla ilgili bir takım sınırlamaları bünyesinde barındırmasına rağmen, halkımızın bu konuda somut çalışmalarla bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçları şu şekilde sıralayabiliriz;

1- Yüksek gerilim hatlarının etrafında oluşan elektrik ve magnetik alanlar; hattın geometrik özelliğine, elektriksel büyüklüklerine, iletkenlerin kendi aralarındaki açıklığa ve yerden yüksekliğine bağlıdır.

2- İletim hatları boyunca oluşan elektromagnetik alan değerleri, hat güzergahının tam altındayken en üst değerine ulaşmakta, hat güzergahının altından yanal olarak uzaklaşıldıkça aradaki mesafenin artmasına bağlı olarak, oluşan alan etkisini kaybetmektedir.

3- Enerji iletim hatlarının oluşturduğu elektromagnetik alanların çevrede yaşayanlar üzerinde oluşturduğu etki, dağıtım hatlarının oluşturduğu etkiden daha düşük seviyelerdedir. Bunun temel nedeni olarak; yerleşim planlarının genel olarak iletim hatları yakınlarında yapılmamasını gösterebiliriz. Diğer taraftan, dağıtım hatları evlerimize çok yakın güzergahlardan geçebilmektedir.

4- Alan etkisinde kalan kişilerin nabız sayılarında değişiklik gözlenebilmektedir.

5- Araştırmacılar tarafından yapılan deneylerde; kan basıncı üzerinde alan etkisine rastlanmamıştır. Bununla birlikte, deneklerin fiziksel ve psikolojik yorgunluğundan kaynaklanan kan basıncı değişimleri tespit edilmiştir.

6- Yüksek gerilimli hatlarda işçi olarak çalışan kişilerde, alan etkisinden kaynaklanan patolojik bulgulara rastlanmamıştır. Ancak bu; elektromagnetik alanların canlı sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin olmadığı anlamına gelmemektedir. Uzun süreli ve kontrolsüz maruziyetlerde, ciddi anlamda sağlık problemleriyle karşılaşıldığına dair önemli ipuçları ve kayıtlar mevcuttur.

7- Yapılan çalışmalarda kaydedilen bir takım sağlık problemleri (başağrısı, uykusuzluk, sinirlilik hali,...vs) kişilerin iç yapılarından kaynaklabilecek problemler olduğu gözardı edilmemiştir.

8- Özellikle enerji iletim hatları modellenirken, ekonomik kıstasların yanı sıra bu hatların çevrelerinde oluşturdukları alan etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Zira, alan etkisinde kalan kişilerin vücutlarında belirli seviyelerde indüklenen akımların yol açacağı sağlık problemleri karşısında halk artık bilinçli hareket etmektedir.

9- Yüksek gerilim hatlarında çalışan işçilerin vücudunda alan etkisiyle indüklenebilecek akımlar; gerekli şekilde tasarlanmış Faraday kafesleri veya benzeri fonksiyonları yerine getirebilecek koruyucu giysilerle önlenebilmektedir.

10- Elektromagnetik alanların etkisinde kalan kişilerde normal insanlara oranla daha fazla kanser vakasına rastlanılabilmektedir.

11- Evlerde, ofislerde kısacası gün içerisinde bulunabilecek ortamlardaki elektrikli cihazların, çevrelerinde ciddi miktarda alan etkisi oluşturduğu bilinmektedir. Bu tip alan etkilerinin cihazın çalıştığı veya çalışmadığı durumlara göre değiştiğini, ancak cihazın fişi prize takılı olduğu sürece çevresinde elektrik alan oluştuğu bilinmektedir.

12- Bu tip cihazlara mümkün olduğunca uzak mesafelerde bulunulması gerektiğini, özellikle mikrodalga fırınların ve elektrikli battaniyelerin daha dikkatli kullanılması gerektiği bilinmelidir.

13- Araştırmacıların yaptığı çalışmalarda; elektromagnetik alanların etkisi altında bulunulduğunda; hücre, enzim ve hormon faaliyetlerinde bir takım değişiklikler gözlenmektedir ancak sonuçlar kesinlik göstermemektedir.

14- Elektromagnetik alanlar; sinir sistemi üzerinde direkt etkiye sahip olmakla birlikte, bu fiziksel, elektriksel, biyokimyasal, fonksiyonel ve patalojik değişimlerin maruz kalınan süreyle orantılı olarak değiştiği bilinmektedir.

15- Melatonin hormonu, kanserli hücrelerle savaşmakta aktif rol oynamaktadır, ancak elekromagnetik alan etkisinde bulunan kişilerin vücutlarında bu hormonun salgılanma miktarının düştüğü bilinmektedir. Melatonin hormonu salgısı insan vücudunun baş bölgesinden gerçekleştirildiği ve özellikle akşam saatlerinde daha fonksiyonel olduğu düşünülürse; akşam, yüksek miktarda elektromagnetik alan oluşturan saç kurutma makinelerinin kullanımından kaçınılmalıdır.

16- Alan etkisinin günümüzde hala nedeni tam olarak açıklanamamış bir takım rahatsızlıkların (Alzheimer, Parkinson, ... vs) tetikleyicisi olabileceği tatışmaları sürmektedir. Özellikle Alzheimer hastalığı için alan etkisinin risk faktörünü yükselttiği bilinmektedir.

17- Uygun olarak modellenmiş yüksek gerilim hatlarının X ışını radyasyonu görülmemektedir.

18- Radyo frekanslarındaki dalgaların bazı biyolojik etkilerini şu ana başlıklar altında toparlayabiliriz;

- Hücre sistemini etkiler
- Genetik düzeni ve gelişimini etkiler
- Gelişmiş biyolojik sistemlerin üzerinde etkileri vardır
- Metabolizma faaliyetleri üzerinde etkileri mevcuttur
- Isıl etkilerle molekül yapıları üzerinde çeşitli etkilere sahiptir.

19- Çevremizde maruz kalınan elektrik alanı basit yöntemlerle engellenebilmektedir.

20- Filtre ve ekranlama yaparak katot ışını tüpü, monitör ve düşük frekanslı elektrik alanların önlenmesi mümkünken aynı şey, magnetik alanlar için söylenilememektedir.

21- Literatürde; video ve bilgisayar ekranlarından yayılan RF dalgaların hamile kadınların düşük riskini arttırdığı, erken doğumlara neden olduğu ve sakat doğum riskini arttırdığına dair kuvvetli bulgular mevcuttur. Sıvı kristal ekranlarda elektrik ve magnetik alan yayılımı yoktur.

22- Son yıllarda yapılan araştırmalardan elde edilen bulgulara göre, elektromagnetik dalgaların hücreleri etkilediği söylenebilmektedir ancak %100 kansere yol açtığına dair kesin yargılara varılamamaktadır. Çocuklarla yaşlılar için 0,4 μT'dan yüksek değerlerdeki magnetik alanların, kanserle ilgili önemli ilişkileri ortaya çıkarılmıştır. 2 mG seviyesinde daha yüksek değerlerde alan etkisinde kalan çocukların 1,5 ile 2 kat daha fazla kanser riski taşıdığı ve 3 mG seviyesinden daha yüksek seviyelere maruz kalan işçilerin normal insanlara oranla 3 kat fazla kanser riski taşıdığı sonucuna varılmıştır. Ancak bunun kesinliği için insanlar üzerinde uzun süreli epidemiksel ve deneysel çalışmalar yapılmalıdır.

Daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere epidemiksel çalışmalar, bir etkiye maruz kalan bireylerle kalmayan bireyler arasında karşılaştırmalar yapılmasına dayanan bir araştırma türüdür. Günümüz koşullarında, 50 ve 60 Hz elektrik kullanımından kaynaklanan alan etkisine maruz kalmamış bireyler olduğunu düşünmek bile araştırmaların zorluğu konusunda bizlere fikir vermektedir. Ancak bu tip olumsuzluklar çalışmaların çeşitliliğini engellememektedir.

Alan etkileri araştırılırken; alan şiddeti, maruz kalma süresi, yaşam koşulları ve günlük hayattaki periyotlar göz önünde bulundurulmalı ve belirlenecek değerlerle daha konforlu ve gerçekçi standartlar elde edilmelidir.

WHO'nun kanserojen maddelerle ilgili çalışmaları dört grupta toplamaktadır; (1) kanserojen, (2) olası (possible) kanserojen, (3) muhtemel (probable) kanserojen, (4) henüz sınıflandırılamayanlar. Yüksek gerilim hatlarıyla ilgili uzun süreli, geniş katılımlı ve güvenilir çalışmalar / araştırmalar gerçeklendigi için WHO eldeki araştırma verilerine dayanıp ELF magnetik alanları artık (olası) kanserojen sınıfında göstermektedir [49].

Özellikle ülkemizde, bu konuya daha fazla önem verilmeli ve gelişmiş ülkelerin çöp olarak nitelendirdiği kalitesiz ürünler ve standartlara aykırı cihazlar yurdumuza sokulamamalıdır. Bu tip elektrikli ürünlerde CE standartlarına uygunluk aranmalı ve bu konuda kesin tavır sergilenmelidir.

KAYNAKLAR

[1] **AKHUNLAR, A**. 1971. Elektrik Alanlarına Giriş I, Statik Elektrik Alanı, Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu

[2] Yazarsız, İnternet adresi; www.sciart.karaelmas.edu.tr/

[3] **AKHUNLAR, A**. 1980. Elektrik Alanlarına Giriş II, Magnetik Alan, Teknik Üniversite Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul

[4] **DEMİR, A.** 1999. Elektromagnetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri, Lisans Tezi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İ.T.Ü., İstanbul

[5] **ŞEKER, S.** Elektromagnetik Kirlenme ve Güvenlik Standartlarının Geliştirilmesi- II, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

[6] **POLK, C., POSTOW**, **E.,** 1986. CRC Handbook of Biological Effects of Elektromagnetic Fields, CRC Press

[7] Tübitak-Bilten 2001, Elektromagnetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı, Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları

[8] **ÖZMEHMET, K.,** Elektromagnetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı: 344, Sayfa: 146 – 148

[9] **ŞEKER**, **S., ÇEREZCİ, O.,** 1994. Elektromagnetik Enerji ile Canlıların Etkileşimi, Modellerin ve Standartların Geliştirilmesi, BİYOMUT 94, Sayfa: 145 – 151

[10] **KOROĞLU**, **Y.,** Nisan 1995. Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri, 3e, Sayı: 44, Sayfa: 50 – 53

[11] **KALENDERLİ, Ö., YILDIRIM, H., İSMAİLOĞLU, H.,** Aralık 1995. Yüksek Gerilim Hatları Çevresindeki Elektromagnetik Alanların Hesabı ve Ölçümü, BİYOMUT 95, Sayfa: 142 – 147

[12] TEK, İletim Şebekeleri İşletme Dairesi Başkanlığı, Sistem Araştırma ve Kontrol Müdürlüğü, Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların, Generatör ve Trafoların Elektriki Karakteristikleri, SA-83/1, Genel Kod:27/27.128

[13] **MERCOLA, J.,** Are EMFs Hazardous to Our Health, www.medmarket.com

[14] **HORTON, W. F., GOLDBERG, S**., 1995. Power Frequency Magnetic Fields and Public Health, CRC Press, Boca Raton

[15] **HAUF**, **R.,** Ekim 1977. 50 Hz Sıklıklı Alternatif Elektrik ve Magnetik Alanların İnsanlar Üzerindeki Etkisi, Elektrik Müh. Dergisi, Sayı 250, Sayfa 487-495

[16] **LONGWORTHY, O. R**., **KOUWENHOVEN, W. B**., **SINGEWALD**, **M. L**., **KICKERBOCKER, G. G.,** Ekim 1977. Alternatif Elektrik Alanlarda Çalışan İşçilerin Tıbbi İncelenmesi, Elektrik Müh. Dergisi, Sayı 250, Sayfa: 500-505

[17] **MALBOYSSON, E.,** Ekim 1977. Elektromagnetik Alanların Etkisinde Çalışan Kişilerin Tıbbi Denetimi, Elektrik Müh. Dergisi, Sayı 250, Sayfa 496-499

[18] **BOLD, A., TOROS, H.** ve **ŞEN O.,** 2003. Magnetik alanın insan sağlığı üzerindeki etkisi, III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 19-21 Mart, İTÜ, İstanbul

[19] IEE, Possible Biological Effects of Low Frequency Electromagnetic Fields, (June 1994), İnternet Adresi: www.iee.org.uk

[20] Microwave News, NCRP Draft Recommendations on EMF Exposure Guidelines, İnternet Adresi: www.microwavenews.com

[21] **BLANK, M., GOODMAN, R.,** 1997. Do Electromagnetic Interact Directly with DNA, Bioelectromagnetics, Vol: 18, pp. 111-115

[22] **LAMARINE, R. J., NARAD, R. A.,** Health Risk Associated with Residental Exposure to Extremely Low Frequency Elektromagnetic Radiation, İnternet Adresi: www.csuchico.edu/hcsv/

[23] **OVERBACK, W.,** Electromagnetic Fields and Your Health, İnternet Adresi: www.geocities.com

[24] Yazarsız, Abstracts from The Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Italy, (8-13 June 1997)

[25] **BECKER, R**. **MARINO, A. A**., EMF and Life

[26] Yazarsız, National Instute of Environmental Health Sciences and U.S. Department of Energy, Questions and Answers About EMF, Electric and Magnetic Field Associated with The Use of Electric Power, (Jan. 1995)

[27] **SOBEL**, **E., DUNN, M.,** December 1996. EMF Exposure and Alzheimer's Disease Vol: 47, Page: 1477-1481; 1594-1600

[28] **MAXEY, S.**, Health Effects of Low-Frequency Radiation, İnternet Adresi: www.newage.com.au

[29] **ŞEKER, S., MORGÜL, A.,** Eylül-Ekim 1998. Elektromagnetik Kirlenme ve Güvenlik Standartlarının Geliştirilmesi, Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi

[30] **ŞEKER, S., ÇEREZCİ, O**., 1990. Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri, Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları

[31] **EDWIN**, **C.**, 1990. Biyological Effects of Electromagnetic Energy, Prentice Hall Pub., New Jersey

[32] Microwave News, www.microwavenews.com

[33] What are EMF's, http://www.lessemf.com

[34] **UMURKAN**, **N., YILDIRIM**, **H., KALENDERLİ**, **Ö.,** 1993. Enerji İletim Hatlarında Yük Benzetim Yöntemi ile Alan Hesabı, Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Sayfa: 1249 – 1253

[35] **UMURKAN, N., YILDIRIM, H., KALENDERLİ, Ö.,** Aralık 1993. Orta ve Yüksek Gerilimli Enerji İletim Hatları Çevresinde Elektrik Alan Hesabı İçin Yeni Bir Yaklaşım, III. Elektromekanik Sempozyumu, Bursa, Sayfa: 142 – 147

[36] **SEVGİ**, **L**., Ocak 1999. Elektromagnetik Problemler ve Sayısal Yöntemler

[37] Yazarsız, Power Watch, İnternet adresi; www.powerwatch.co.uk.

[38] Yazarsız, EMF in Your Enviroment, İnternet adresi; www.consumerlawpage.com

[39] TSE, Nisan 1996. İnsanların Elektromagnetik Alanlara Maruz Kalması – Düşük Frekanslar (0 Hz – 10 kHz)

[40] IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz, IEEE Std C95.6™-2002

[41] WHO Standards, http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Europe/Turkey_files/table_tu.htm

[42] WHO Standards, http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/North_America/Canada_files/table_ca.htm

[43] WHO Standards, http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/North_America/USA_files/table_us.htm

[44] www.fs.fed.us/r3/carson/ plans/ojo_caliente/pdf/ch3-part8.pdf

[45] www.spipowernet.com.au/.../AllAboutElectricAndMagneticFields/$file/AllAboutElectricAndMagneticFields.pdf

[46] www.radsafe.berkeley.edu/nirsafman1101.pdf

[47] www.leukaemiaconference.org/programme/posters/day3-ainsbury1.pdf

[48] **SEVGİ, L.,** Eylül 2004. EMC ve Korunma Yöntemleri, Endüstriyel Otomasyon Dergisi

[49] **SEVGİ, L.,** Şubat 2005. Çevremizdeki Elektrik ve Magnetik Alanlar, Endüstriyel Otomasyon Dergisi

EKLER

Ek-A Yük Benzetim Yöntemi İle Elektrik Alan Hesabı (YBY)

Giriş

Günümüzde artan enerji ihtiyacı nedeniyle, enerjinin iletiminde; hem büyük güçleri iletmek, hem de gerilim düşümü sorunundan etkilenmemek için yüksek gerilimli hatlar kullanılmaktadır.

Enerjili bir hattın çevresinde elektromagnetik alanlar oluşur. Hattın gerilimi elektrik alanın, hattan akan akım ise magnetik alanın kaynağıdır [11].

Yeni kurulacak olan bir yüksek gerilim enerji iletim hattında kullanılacak aygıtların ve donanımın en uygun şekilde tasarlanabilmesi için elektrik alan dağılımlarının incelenmesi gerekir.

Elektrik alan, hesabı yeterli sayıda sınır koşulu ile Laplace ve Poisson denklemlerinin çözümünü gerektirir. Elektrot sisteminin geometrik şeklinin basit olduğu problemlerde analitik çözümler bulunabilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda fiziksel sistemlerin karışıklığı nedeni ile analitik çözümler bulmak zordur. Bu nedenle mühendislik uygulamalarında alan hesabı sayısal yöntemlerle yapılır. Mevcut sayısal yöntemler genellikle diferansiyel veya integral kavramlarına dayanmaktadır [34].

Bu bölümde, yüksek gerilim hatları çevresinde oluşan elektrik alanların sayısal yöntemlerden biri olan, yük benzetim yöntemi ile hesabından sözedilecektir.

Yük Benzetim Yönteminin İlkesi

Yük benzetim yöntemi ile elektrik alan hesabının temel ilkesi; elektrotların yüzeyine fiziksel olarak dağılmış yüzeysel yüklerin yarattığı gerçek elektrik alan yerine, oluşturduğu alanın hesabına dayanır. Bu yöntemin doğruluğu, yük tipine, sayısına ve yüklerin uygun yerleştirilmesine bağlıdır [35].

Yüklerin değerleri, iletken yüzeyinde alınan belirli sayıda sınır noktasındaki potansiyelin iletkenin bilinen potansiyeline eşit olması koşulundan gidilerek bulunur [11].

Gözönüne alınan n tane benzetim yükünün her birinin yükü q_j, bu yüklerin herhangi bir noktada oluşturdukları potansiyel de V_i ile gösterilirse;

$$V_i = \sum_{j=1}^{n} p_{ij} q_j \tag{A.1}$$

bağıntısıyla bulunur. katsayılarıdır. Burada p_{ij}, bir birçok yük tipi için bilinen potansiyel katsayılardır.

Örneğin bir noktasal yükün (q) kendisinden r uzaklığında bir noktada oluşturacağı potansiyel;

$$V = (4\pi\varepsilon_r)^{-1}.q = p.q \tag{A.2}$$

olduğuna göre p potansiyel katsayısı;

$$p = (4\pi\varepsilon_r)^{-1} \tag{A.3}$$

olur [14].

Aynı şekilde sonsuz çizgisel bir yükün kendisinden r uzaklığında bir noktada oluşturacağı potansiyel;

$$V = q / 2\pi\varepsilon.(\ln r_o / r) = p.q \tag{A.4}$$

dir. Burada r_o, yükün potansiyeli sıfır olan en yakın noktaya uzaklığı, ε ise ortamın dielektrik sabitidir. Sonsuz çizgisel yük için p potansiyel katsayısının;

$$p = (2\pi\varepsilon)^{-1} \ln(r_o / r) \tag{A.5}$$

olduğu görülmektedir [11].

Bilinmeyen yük değerlerinin denklem (A.1)' den elde edilebilmesi için n adet bilinen potansiyele ihtiyaç vardır. Bunun için de potansiyeli bilinen n tane nokta tanımlanır ve bu noktalara sınır noktası adı verilir. Sınır noktalarının sayısı benzetim yüklerinin sayısına eşittir. Yüklerin tipi ve yerleri tanımlandıktan sonra herhangi bir sınır noktasındaki V_i ve q_j arasında matematiksel bir bağıntı yazmak mümkündür.

(A.1) denklemi n tane yük ve n tane potansiyeli bilinen sınır noktası için düzenlendiğinde matrisel olarak;

$$\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ .. \\ V_n \end{pmatrix} \tag{A.6}$$

şeklinde bir denklem sistemi elde edilir. Bu denklem sisteminin çözümü ile yüklerin değerleri bulunabilir. Benzetim yüklerinin değerleri ve yerleri bilinirse, herhangi bir noktadaki potansiyel ve alan şiddeti yukarıda sözü edildiği gibi süper pozisyon ilkesi ile bulunabilir [35].

Benzetimin doğruluğunu kontrol etmek amacı ile potansiyeli bilinen ve elektrot sınırına yerleştirilen birkaç kontrol noktasında potansiyeller hesaplanır. Hesaplanan kontrol noktası potansiyelleri ile verilen sınır noktası potansiyelleri arasındaki fark, benzetimin doğruluğunun ve uygulanabilir olmasının bir ölçüsüdür.

YBY ile herhangi bir noktadaki elektrik alan şiddeti,

$$\vec{E} = -\nabla V \tag{A.7}$$

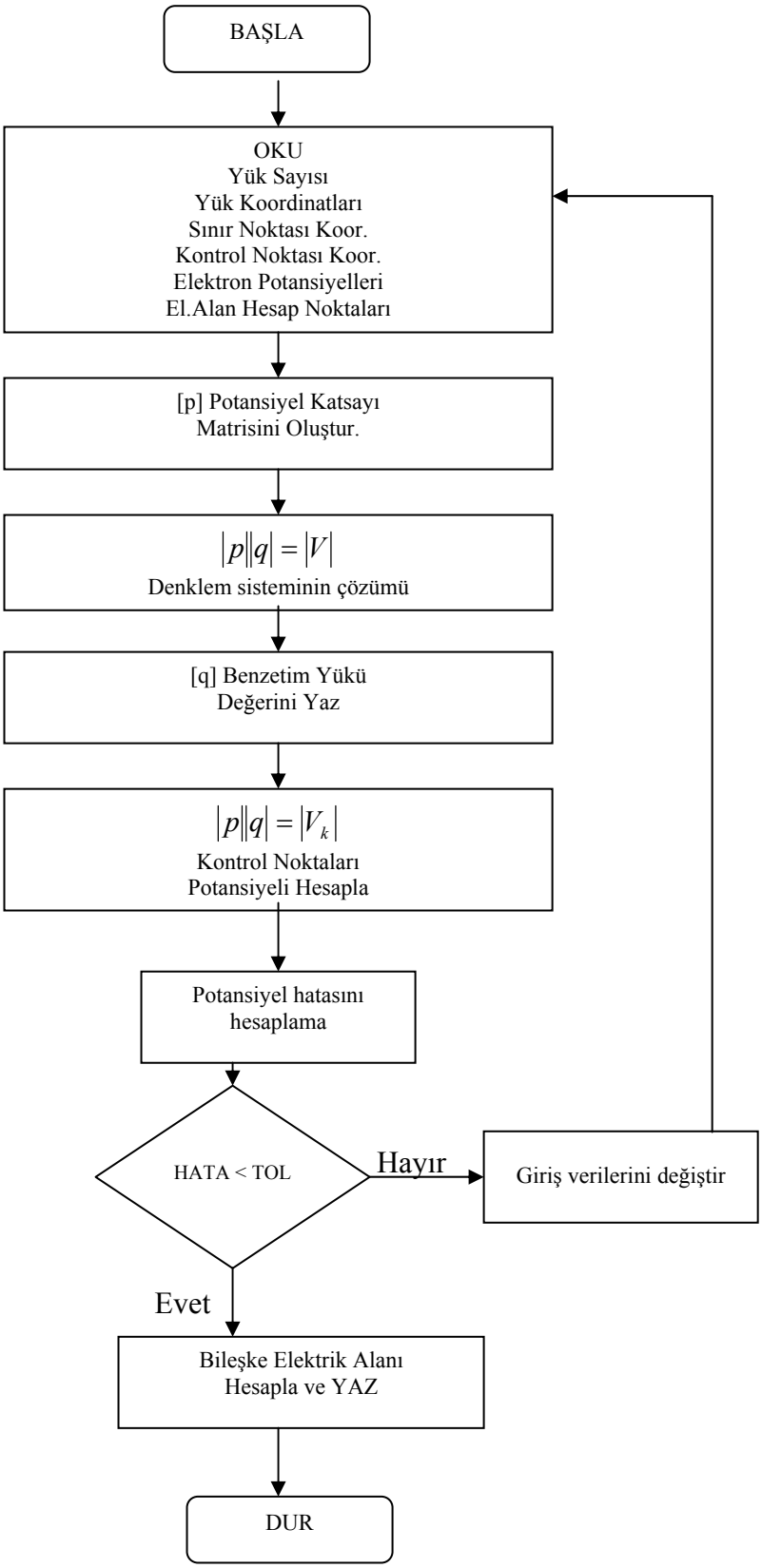
bağıntısından bulunur. İfade açık yazılacak olursa

$$\vec{E}_i = \left[\sum_{j=1}^{n} \frac{\partial P_{ij}}{\partial x} q_j\right] \vec{i}_x + \left[\sum_{j=1}^{n} \frac{\partial P_{ij}}{\partial y} q_j\right] \vec{i}_y + \left[\sum_{j=1}^{n} \frac{\partial P_{ij}}{\partial z} q_j\right] \vec{i}_z \tag{A.8}$$

elde edilir. Burada i_x, i_y, i_z sırasıyla x,y ve z yönündeki birim vektörlerdir.

Denklem (A.1), (A.6), (A.8)'i kullanan bilgisayar algoritması ile sayısal hesaplamalar yapılır. Bu algoritmaya ilişkin akış diyagramı Ek-B, Şekil B.1'de verilmiştir [34].

Ek-B Yük Benzetim Yöntemi Akış Diyagramı



Şekil B.1 Yük Benzetim Yöntemi ile Alan ve Potansiyel Hesabı İçin Akış Diyagramı

Ek-C Bazı Elektrikli Ev Aletlerine Ait Magnetik Alan Değerleri

Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü (EPRI), Illinois Teknoloji Araştırma Enstitüsü (ITRI) ve Amerika Çevre Kurumu (EPA)'nın verileri ile oluşturulmuş bilgiler Tablo C.1'de gösterilmiştir. Magnetik alanın büyüklüğü, kendisini oluşturan aletten 6 inç (1 inç = 2,54 cm), 1,2 ve 4 feet (1 feet = 30,48 cm) olmak üzere dört farklı uzaklıkta ölçülmüştür. Aletler arasında karşılaştırma yapılabilmesi için uzaklıklar her alet için aynı seçilmiştir. Aletleri kullanırken vücudun bölümlerine olan uzaklıklara göre etkilenme oranları değişebilmektedir.

Tablo C.1'de her alet için, her bir uzaklıkta üç ayrı ölçüm değeri verilmiştir. Birincisi ölçülmüş en düşük değer, diğerleri ise orta ve en yüksek değerdir.

Aletlerin oluşturdukları magnetik alanlar gün boyu kullanıldıkları yerlerde ölçülmüştür. Magnetik alan büyüklükleri mG olarak verilmiştir [9].

Tablo C.1 Elektrikli Aletler ve Magnetik Alan Değerleri

Uzaklık (cm)	15	30	60	120
Saç Kurutma Makinesi				
En Düşük	1	-	-	-
Orta	300	1	-	-
En Yüksek	700	70	10	1
Tıraş Makinesi				
En Düşük	4	-	-	-
Orta	100	20	-	-
En Yüksek	600	100	10	1
Mutfakta Kullanılan Aletler				
Uzaklık (cm)	15	30	60	120
Blender				
En Düşük	30	5	-	-
Orta	70	10	2	-
En Yüksek	100	20	3	-
Elektrikli Konserve Açacağı				
En Düşük	500	40	3	-
Orta	600	150	20	2
En Yüksek	1500	300	30	4

Kahve makinesi

En Düşük	4	-	-	-
Orta	7	-	-	-
En Yüksek	10	1	-	-

Çamaşır Odasında Kullanılan Aletler

Uzaklık (cm)	15	30	60	120

Kurutma Makinesi

En Düşük	2	-	-	-
Orta	3	2	-	-
En Yüksek	10	3	-	-

Çamaşır Makinesi

En Düşük	4	1	-	-
Orta	20	7	1	-
En Yüksek	100	30	6	-

Ütü

En Düşük	6	1	-	-
Orta	8	1	-	-
En Yüksek	20	3	-	-

Taşınabilir Isıtıcı

En Düşük	5	1	-	-
Orta	100	20	4	-
En Yüksek	150	40	8	1

Elektrik Süpürgesi

En Düşük	100	20	4	-
Orta	300	60	10	1
En Yüksek	700	200	50	10

Yatak Odasında Kullanılan Aletler

Uzaklık (cm)	15	30	60	120

Dijital Saat

En Düşük	-	-	-	-
Orta	1	-	-	-
En Yüksek	8	2	1	-

Analog Saat

En Düşük	1	-	-	-
Orta	15	2	-	-
En Yüksek	30	5	3	-

Bebek İzleme Monitörü

En Düşük	4	-	-	-
Orta	6	1	-	-
En Yüksek	15	2	-	-

Büroda Kullanılan Aletler

Uzaklık (cm)	15	30	60	120

Havalandırma

En Düşük	110	20	3	-
Orta	180	35	5	1
En Yüksek	250	50	8	2

Fotokopi Makinesi

En Düşük	4	2	1	-
Orta	90	20	7	1
En Yüksek	200	40	13	4

Faks Makinesi

En Düşük	4	-	-	-
Orta	6	-	-	-
En Yüksek	9	2	-	-

Flüoresan Lamba

En Düşük	20	-	-	-
Orta	40	6	2	-
En Yüksek	100	30	8	4

Tablo C.2 Bazı Elektrikli Ev Aletlerine Ait Ölçülmüş Magnetik Alan Değerleri

Sac Kurutma Makinesine Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	780	98	10	1
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	400	10	1	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	---	---

Çamaşır Makinesine Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	500	81	5	1
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	230	8	1	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	---	---

Çamaşır Kurutma Makinesine Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	850	150	35	1
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	500	50	10	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	1	---

Traş Makinesine Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	725	125	10	1
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	450	25	1	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	---	---

Bulaşık Makinesine Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	360	62	8	1
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	75	13	1	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	---	---

Tost Makinesine Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	980	358	78	11
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	468	125	16	1
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	1	1

Kahve Makinesine Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	25	3	---	---
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	5	1	---	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	---	---	---

Blendera Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	137	42	7	1
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	57	11	1	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	---	---

Bebek Monitörüne Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	18	7	---	---
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	9	1	---	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	---	---	---

Elektrikli Isıtıcıya (1800 W) Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	1500	698	52	5
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	842	259	14	1
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	1	---

Analog Saate Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	22	2	---	---
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	4	1	---	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	---	---	---

Elektrikli Battaniyeye Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	60	17	---	---
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	25	8	---	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	---	---

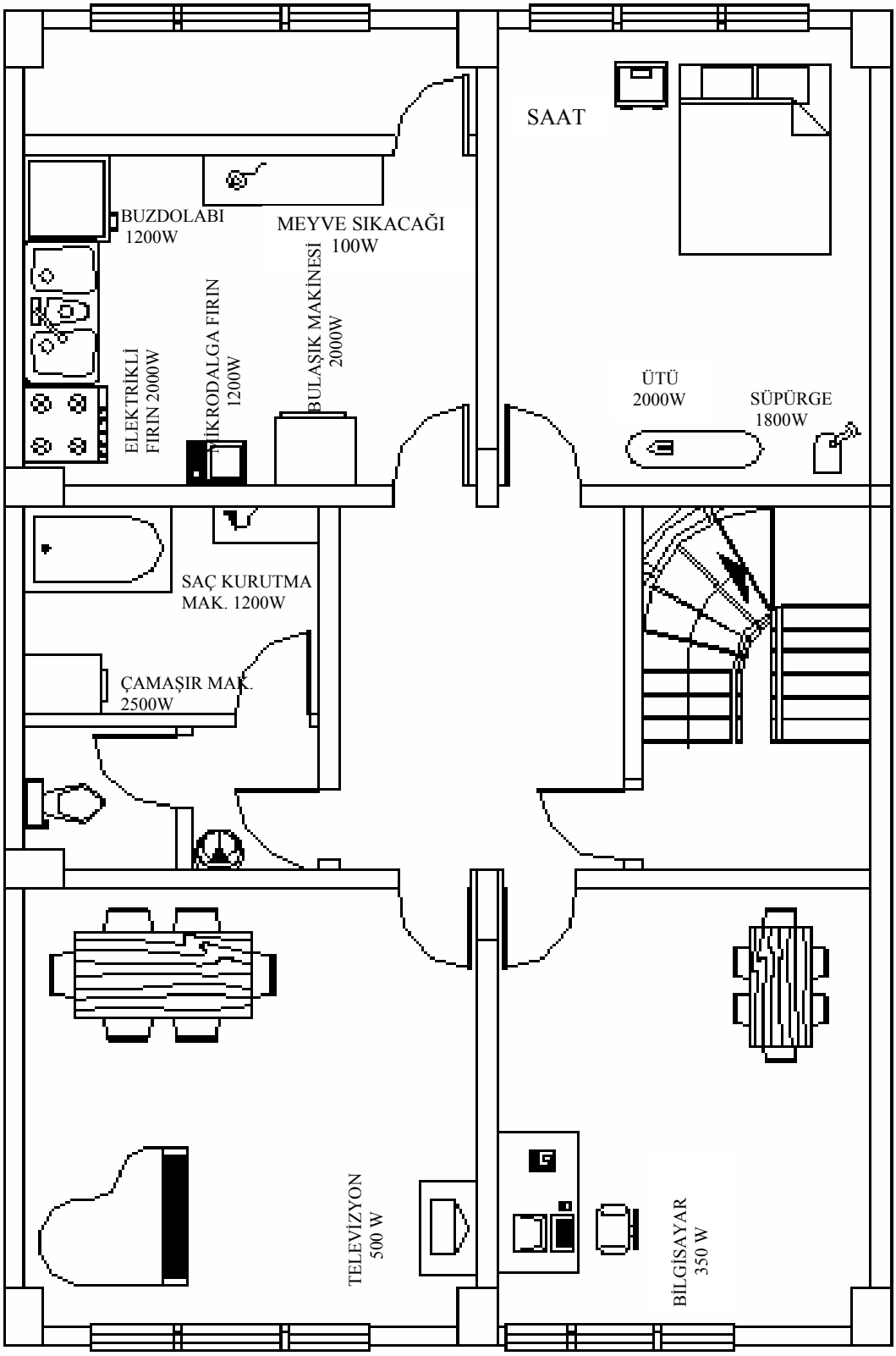
Flüoresan Armatüre Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	74	19	---	---
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	26	8	---	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	1	1	---

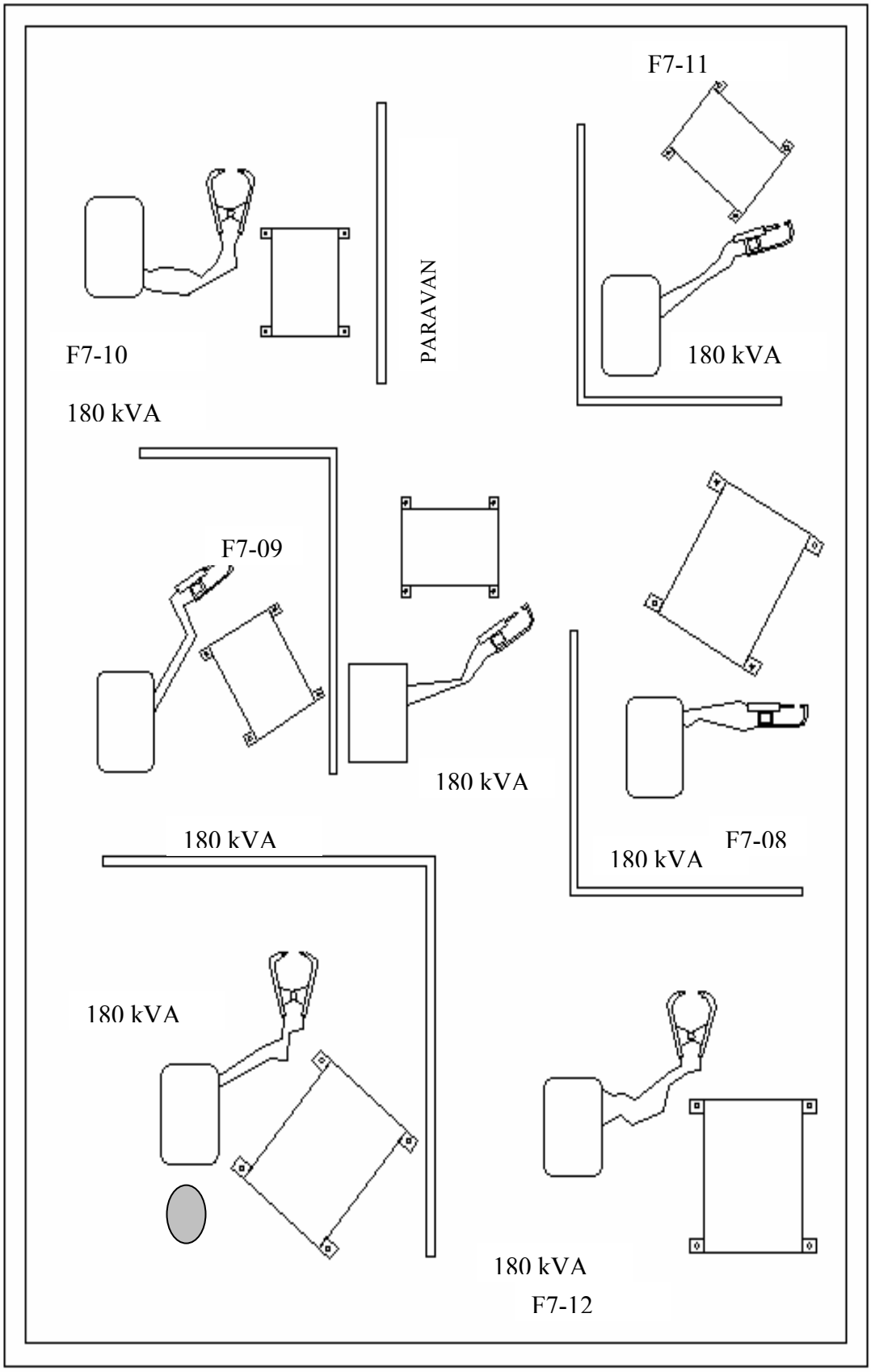
Kahve Makinesine Ait Magnetik Alan Değerleri

Kaynağa Olan Uzaklık (cm)	10	30	50	100
Max. Magnetik Alan Değeri (mG)	25	3	---	---
Ort. Magnetik Alan Değeri (mG)	5	1	---	---
Min. Magnetik Alan Değeri (mG)	1	---	---	---

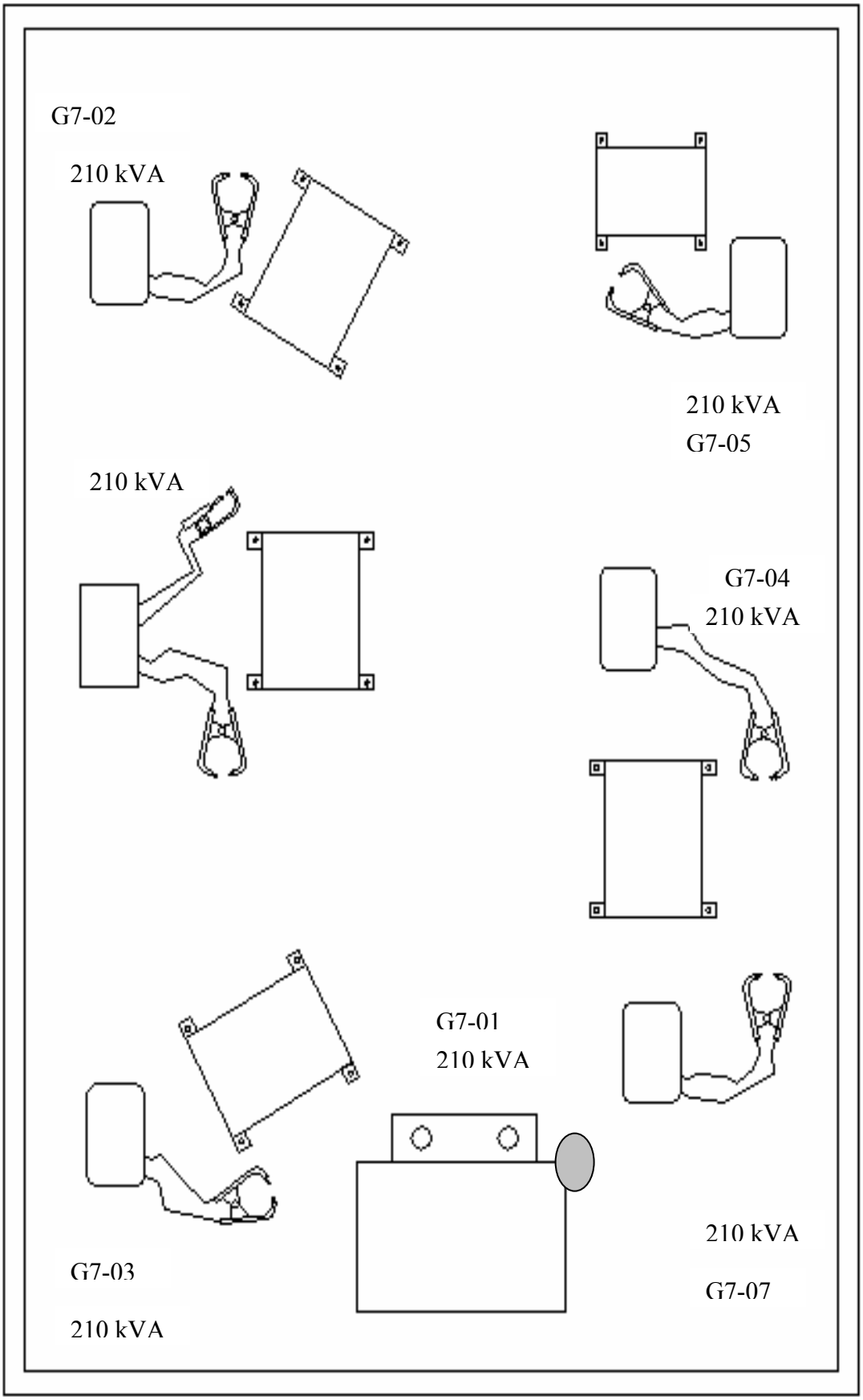
Ek-D Oyak-Renault Oto. Fab. A.Ş.'nde Ölçümü Yapılan Cihazlara İlişkin Krokiler



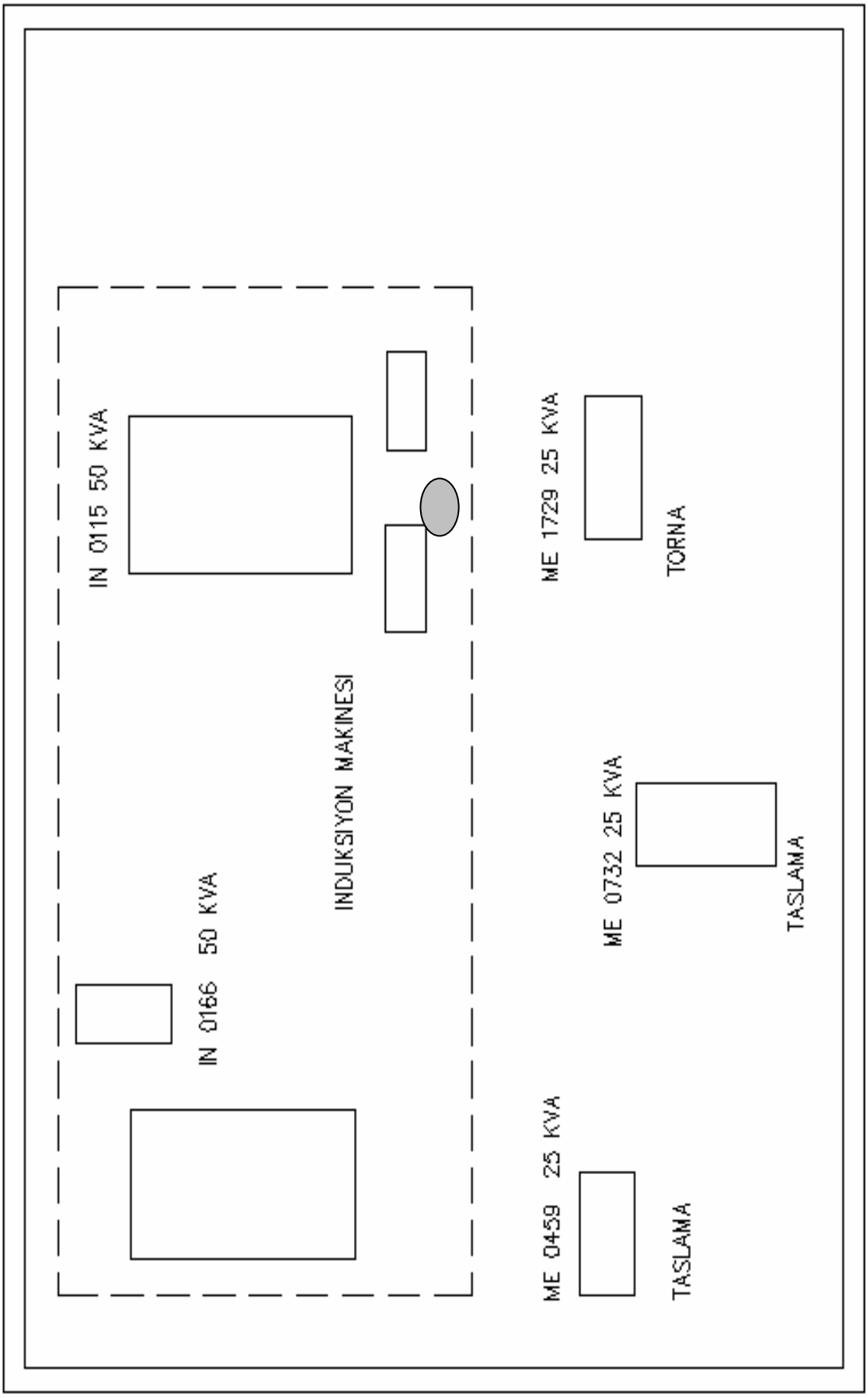
Şekil D.1 Standart Ölçümlerin Gerçekleştirildiği Ev Krokisi



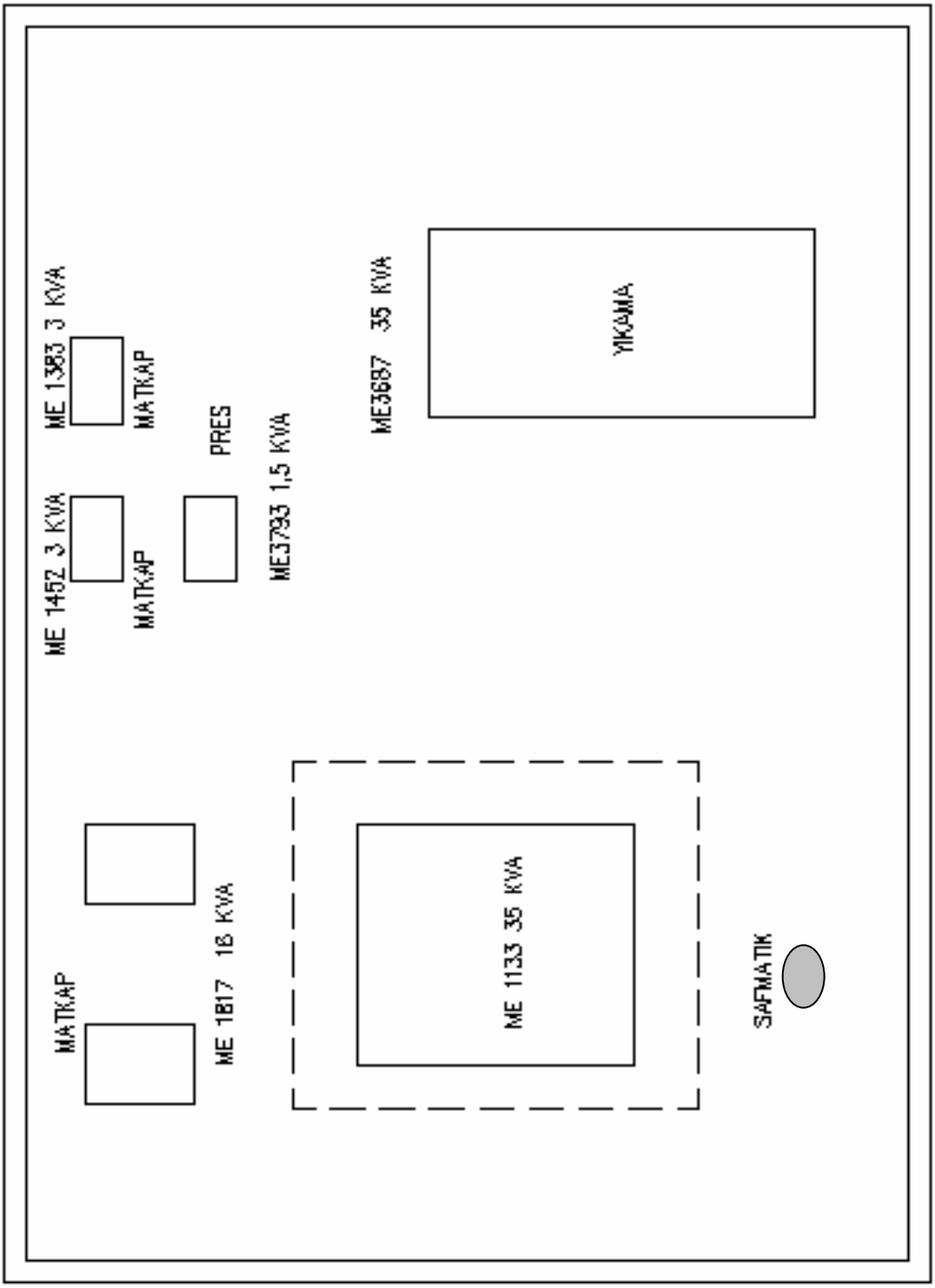
Şekil D.2 Oyak –Renault Fabrikasında Gerçekleştirilen Saha Ölçümlerine Ait Kroki
(180 kVA' lık Askılı Punta Kaynak Makinası)
(Gri Noktalı Yerler Ölçüm Yapılan Noktaları Temsil Etmektedir.)



Şekil D.3 Oyak –Renault Fabrikasında Gerçekleştirilen Saha Ölçümlerine Ait Kroki
(210 kVA' lık Askılı Punta Kaynak Makinası)
(Gri Noktalı Yerler Ölçüm Yapılan Noktaları Temsil Etmektedir.)



Şekil D.4 Oyak –Renault Fabrikasında Gerçekleştirilen Saha Ölçümlerine Ait Kroki
(İndiksüyon Makinası)
(Gri Noktalı Yerler Ölçüm Yapılan Noktaları Temsil Etmektedir.)



Şekil D.5 Oyak –Renault Fabrikasında Gerçekleştirilen Saha Ölçümlerine Ait Kroki
(Elektron Kaynak Makinası)
(Gri Noktalı Yerler Ölçüm Yapılan Noktaları Temsil Etmektedir.)

ÖZGEÇMİŞ

Fırat ÜNSAL, 1978 yılında Konya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Anadolu'nun çeşitli illerinde tamamladıktan sonra, Bursa Cumhuriyet Lisesi'nden mezun oldu. 1995 yılında, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. Lisans eğitiminin ardından, 2000 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans programına başlamış ve halen bu bölümde öğrenciliğini devam ettirmektedir.