ENDÜSTRİYEL EM ALANLARA MARUZ KALMA, STANDARTLAR, ÖLÇÜM PROSEDÜRLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE ÖLÇÜMLERİN SİMÜLASYONU

Özlem ULUKUT

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
ISPARTA- 2005

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL EM ALANLARA MARUZ KALMA, STANDARTLAR, ÖLÇÜM PROSEDÜRLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE ÖLÇÜMLERİN SİMÜLASYONU

Özlem ULUKUT

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ISPARTA - 2005

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mustafa MERDAN

Üye : Prof. Dr. Ali KÖKÇE

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

ONAY

Bu tez ...../...../ 2005 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../ 2005

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER……..i

ÖZET……..…….iii

ABSTRACT……....iv

TEŞEKKÜR…….v

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ……..…….....vi

ŞEKİLLER DİZİNİ……...viii

TABLOLAR DİZİNİ……...…ix

1. GİRİŞ……1

1.1. Elektromanyetik Büyüklükler ve Birimler…….……3

1.1.1. Alan Eşitlikleri……4

1.1.2. İyonlaştırmayan Radyasyon…….…...5

1.1.3. Ölçüm Büyüklükleri……..…..5

1.2. Biyolojik Etkileşimler……....6

1.2.1. Statik Alan Etkileşimleri……..…...6

1.2.2. 50 Hz Alan Etkileşimleri…….……..…8

1.2.2.1. İnsanların Büyümeleri Üzerindeki Etkileri……14

1.2.2.2. Kanser Oluşumu Üzerine Etkiler……...…15

1.2.2.3. Üreme Üzerindeki Etkiler……..19

1.2.2.4. Sinir Sistemi Üzerindeki Etkileri……...20

1.2.3. 27 MHz Alan Etkileşimleri…….....22

1.3. Maruziyet Limitleri……..24

1.3.1. SAR (Özgül Soğurma Oranı)……26

1.3.2. Fantom Özellikleri……30

1.3.3. Temel Limitler……..31

1.3.4. Türetilmiş Limitler……33

1.3.5. Maruz Kalma Süresinin Belirlenmesi…….……..35

1.4. Maruz Kalınan Alanların Teorik Kuramı……36

1.4.1. Dielektrik İçindeki Elektrik Alanları……41

1.4.2. Dielektriğe Etki Eden Kuvvetler…….…….…43

2. KAYNAK BİLGİSİ…….……...48

3. MATERYAL VE METOD……...…..52
3.1. Statik (DC) Alan ve 50 Hz Rat Çalışması……...52
3.2. 27 MHz Ölçüm Düzeneği……54
3.3. Endüstriyel Ölçümler……...58
3.4. Diyatermi (Dokuların İçten Isıtılması)…….59
3.5. Bitki Deneyi…….61
3.6. Yara İyileşmesi……62
3.6.1. Darbeli Elektromanyetik Alan Üreteci…….62
3.6.2. Darbeli EM Dalganın Ratlerde Yara İyileşmesi Üzerine Etkisi……...63
4. BULGULAR……...66
4.1. Statik (DC) Alan ve 50 Hz Rat Çalışması……...66
4.2. 27 MHz Ölçümleri…….……..67
4.3. Endüstriyel Ölçümler……...69
4.4. Diyatermi (Dokuların İçten Isıtılması)…….70
4.5. Bitki Deneyi…….72
4.6. Darbeli EM Dalganın Ratlerde Yara İyileşmesi Üzerine Etkisi……..73
5. TARTIŞMA VE SONUÇ……...77
6. KAYNAKLAR……...79
ÖZGEÇMİŞ……83
EKLER……84
EK-1……...85
EK-2……86
EK-3……87
EK-4……...88
EK-5……89

ÖZET

Teknolojik gelişmeye bağlı olarak, elektromanyetik enerji çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. İnsanlığın hizmetinde kullanılan bu enerji türünün faydalarının yanında, zararlı etkileri ortaya çıkmış ve geniş bir araştırma konusu olmaktadır. Radyo frekanslar bölgesindeki elektromanyetik enerji; haberleşmede, tıpta, sanayide, askeri cihazlarda ve bilimsel araştırmalarda kullanılmaktadır. Bu bakımdan ister çevresel ister mesleki amaçlı olsun; doğal eşik olarak kabul edilen elektromanyetik çevreyi kirletebilecek tüm kaynaklar belirlenip, sağlık açısından riskli kabul edilerek değerlendirilmelidir. Endüstriyel olarak yaygın kullanılan ELF'nin; deneysel etkilerinin mühendislik hesapları, bu tez çalışmasının konusunu oluşturmaktadır. Elektromanyetik enerji kullanan kaynakların; zararlı etkilerine karşı korunmak için, standartlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konudaki standartlar, biyolojik yapıların ve maruz kalma şartlarının benzer olmasına karşılık, ülkeden ülkeye büyük farklılıklar göstermektedir. Zaman geçtikçe kabul edilen limit değerler, daha aşağı çekilmektedir. Bu konudaki bilimsel çalışmalar, birçok bilim dalını kapsamakta ve disiplinler arası araştırmaları gerekli kılmaktadır. Mühendislik araştırmaları; elektromanyetik radyasyon kaynağı konumundaki cihazların sınıflandırılması, bunların yaydığı elektromanyetik enerji seviyelerinin belirlenmesi ve teknolojik olarak elektromanyetik enerjinin daha güvenli kullanılması için gerekli yöntemlerin geliştirilmesi olarak tanımlanabilir.

Bitki ve hayvan hücrelerinde olabilecek fonksiyonel çalışma sonucunda; çok düşük frekanslı alanların (ELF), canlı dokular üzerinde etkileşimleri hakkında fikir sahibi olunmuştur. Endüstriyel olarak kullanılan 27 MHz ile, sanayi uygulamalarında yerinde ölçümler yapılmıştır ve görülmüştür ki bu cihazlar civarında maruziyet sınırları aşılmakta ve çalışanlar potansiyel bir risk ortamında bulunmaktadırlar. Bu uygulamalarda ilgili mesleklerde çalışanlar ve bakım personeli; ışıma yapan cihaza sürekli olarak yakın olmak durumunda kaldıkları için, birinci derecede risk altındadırlar. Ayrıca son zamanlara kadar zararsız ya da az zararlı olarak düşünülen DC ve DC'ye yakın frekanslardaki elektrik alan için, 10 kV/m dış alan yoğunluğunun hücre fonksiyonlarını değiştirdiği gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bu sonuç, en üst bilimsel toplantılarda sunulmuş, kabul görmüş ve dergi yayını olarak da kabul edilmiştir. İsveç'te bir biyomedikal enstitü daha kapsamlı bir çalışmanın sonuçlarını, bu çalışma ile paralel metodoloji ile aynı zamanlarda yayınlamıştır. Bunun üzerine Dünya Sağlık Örgütü (WHO) bu konu üzerine bir rapor hazırlamış, bilimsel çalışmaların özellikle ELF üzerine yaygınlaşmasını sağlamıştır. Diğer bir çalışmada, ratlerde açık bırakılmış ve suture edilmiş yaralar oluşturulmuş ve bunlara darbeli elektromanyetik alan uygulanmıştır. Darbeli elektromanyetik alanın (DEMA) kullanımının; uygulanan dozlara göre, yara iyileşmesini hızlandırdığını ya da yavaşlattığı görülmüştür ve DEMA'nın yara iyileşmesinin erken dönemlerinde (ilk 2 gün) daha yaralı olabileceği kanısına varılmıştır. Bu konular gelecekte de yeni etkileşimlerin keşfi için yine gündemde olacaktır.

ANAHTAR KELİMELER: İyonlaştırmayan Radyasyon, ELF, Endüstriyel EM Alan, SAR, Diyatermi, Helmholtz Bobini, DEMA

ABSTRACT

Depending on the technological development; electromagnetic energy has been used widely. Such kind of energy, using for human being has got not only useful effect but also dangerous. And these adverse effects have been carried out nearly for thirty years. EM energy in radio frequency range; has been used in telecommunication, medicine, industry, military equipments, and scientific research. In this way, all sources must be defined and evaluated with accepting risky in terms of health. One needs standarts in order to avoid against the dangerous effects of such sources using EM energy. Whereas the conditions of exposure and biological structures are the same, these standarts are different from a country to another ones. However accepted limit values are decreasing from time to time. Scientific researchs on this topic cover many kind of branchs and require the multidisciplinary studies. Engineering and research application can be defined for classification of equipments as a source of EM radiation and determination the level of their radiation, and required developing methods for using EM energy.

In this study, according to the accepted procedure of measurements on ELF scientifically, especially electric fields were studied. Results have been interpreted in terms of standarts, safe proximity ranges engineering precautions, and biological effects. Near by the safety limits of 10 kV/m of ICNIRP's guidelines; it has been shown that some risky biological changing may be occurred. Recent works and publications have been give some the same result. Namely in the near future, developing interest will be able to see about the ELF and static field interactions. However working on the beneficial effects of EM also must be advanced. Minor aim of this study was also to show that a special Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) can be effective on wound healing. Good results were taken from this experiment. Experiment's animals were Albino Rats. Control, DC, AC groups have got 40 animals; 150-200 g Albino Rats. Healthy rats have been chosen by the medical researchers. Long term exposure set ups and study have been planned and constructed by researchers of Medical and Engineering Faculties. 5 kV_{dc} and 5 kV_{ac} sources were connected to the parallel plate set ups. Nerve regeneration in control AC and DC groups have been compared by special medical techniques. During the experiments field intensities and homogenities were continuously controlled. Nerve generation of AC and DC groups have been inhibited; that was another aim of the study; 10 kV/m (AC or DC) can be risky for public. Such fields were not 'innocent'. Plant experiment was taken by 50 Hz; 1 ,3 ,5, 7 mT for 8, 16, 24 hours. Result shows that magnetic field can inhibit the seedling proportional to the field density and exposure time. Biologists have chosen seeds for the plant experiments. Control and exposure groups have got 100 seeds each. 27 MHz EM RF energy is mostly usable in industry. Additionally in the diathermy units of hospitals and heating process in industry, we are mostly facing 27 MHz. From the results of this study; we understand that exposure limit of this band can be easily be reached, and exceeded. Cables and conductors can be acted as a source of strong stray fields.

KEY WORDS: Non-ionizing Radiation, ELF, Industrial EM Fields, SAR, Diathermy, Helmholtz Coil, PEMF

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime bilgi ve deneyimleri ile katkıda bulunan başta Sayın Hocam Prof. Dr. Mustafa MERDAN olmak üzere tüm hocalarıma, bu çalışmanın hazırlanmasında gerekli ortamı hazırlayan ve çalışmanın her safhasında yardımlarını esirgemeyen danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ'ye, yazılım ve çizimlerdeki yardımlardan dolayı Hocam Öğr. Gör. M. Fatih ÇAĞLAR'a, deney çalışmalarımda bana yardımda bulunan SDÜ Tıp Fakültesi Plastik Rekonstrüksiyon Cerrahisi öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Mustafa Asım AYDIN'a ve SDÜ Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalında görevli Arş.Gör. Gökhan CESUR'a çok teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmamı; yüksek lisans projesi ile destekleyen, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü ile SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve seçici jüri üyelerine de teşekkürü borç bilirim. Hayatımın her safhasında, bana destek olan aileme minnet ve şükranlarımı sunarım.

Özlem ULUKUT
ISPARTA-2005

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Halka yarıçapı, genişlik
B	Manyetik alan yoğunluğu
C	Kapasite
C	Çizgisel integral yolu
D	Dielektrik yerdeğiştirme
d	Elektromanyetik enerji soğuran objenin ortalama çapı
E	Elektrik alan şiddeti
E_{loc}	İçerideki E alan şiddeti
f	Frekans
f_0	Maruz kalma durumu için fiziksel yapıya bağlı rezonans frekansı
H	Manyetik alan şiddeti
I	Akım
I_a	Adale akımı
I_k	Kontak akımı
J	Akım yoğunluğu
k	Kilo
L	Endüktans
l	Anten boyu
N	Sarım oranı
M	Molekül ağırlığı
N	Nano, spir (sarım) sayısı
P	Molekül dipol moment
Q	Kalite faktörü
R	Direnç
r	Yarıçap
S	Vektörel güç(Poynting Vektörü), yüzey alanı, yüzeysel integral
S_m	Maruz kalınan güç yoğunluğu seviyesi
S_{limit}	İzin verilen maksimum güç yoğunluğu
T	Transfer fonksiyonu
t	Zaman

t_m	S_m maruz kalması için izin verilebilecek süre
t_{ort}	İzin verilen maksimum güç yoğunluğu için ortalama süre
V	Elektriksel potansiyel
W	Güç birimi
W	Açısal hız
ε	Dielektrik sabiti
ε_r	Bağıl dielektrik sabiti
θ	Açı
χ_e	Dielektrik için boyutsuzluk sabiti
ρ	Serbest yük yoğunluğu
σ	İletkenlik
λ	Dalgaboyu
μ	Manyetik geçirgenlik, mikro
μ_r	Bağıl manyetik geçirgenlik
π	3.1416 sabit sayısı
ω	Açısal frekans (2π f)
Ω	Direnç birimi
τ_m	Molekül hacmi
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
DEMA	Darbeli elektromanyetik alan
EMF	Elektromanyetik kuvvet
ELF	Çok çok alçak frekans
HF	Yüksek frekans
Hz	Frekans birimi
LF	Alçak frekans
ICNIRP	Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Koruma Komitesi
RF	Radyo frekans
SAR	Özgül soğurma oranı
SA	Özgül soğurma
UHF	Çok yüksek frekans

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrumda önemli frekanslar……...2
Şekil 1.2. Hücre zarı etkileşimi…….....9
Şekil 1.3. Laboratuarda SAR ölçümü……..27
Şekil 1.4. SAR ölçüm düzeneği……...27
Şekil 1.5. Bilgisayar ile SAR simülasyonu…….27
Şekil 1.6. Cep telefonu ve insan kafasında SAR dağılımı……...28
Şekil 1.7. Frekansa göre 10 W/m^2 altında SAR değişimi……....29
Şekil 1.8. Fantomun geometrik yapısı…….30
Şekil 1.9. ICNIRP temel limitleri……....33
Şekil 1.10. ICNIRP türetilmiş limitleri……..34
Şekil 1.11. Düzenlenen paralel plakalı deney düzeneği…….....36
Şekil 1.12. Plakalar arasına yerleştirilmiş dielektrik maddenin farklı alanlar ile gösterimi…….……42
Şekil 3.1. 50 Hz ve statik alanlar için deney düzeneği……....52
Şekil 3.2. Çerçeve antenin eşdeğer devresi…….54
Şekil 3.3. *Q* değerinin değişim grafiği…….....55
Şekil 3.4. Test için kurulan düzenek……...57
Şekil 3.5. 27 MHz kaynaktan yayılan elektromanyetik alanın görsel olarak test edilmesi…….……...……...57
Şekil 3.6. Diyatermi cihazı ekipmanları ve ölçüm yönleri……..…60
Şekil 3.7. Helmholtz bobin takımı……...61
Şekil 3.8. Darbeli elektromanyetik alan üreteci……..64
Şekil 3.9. Darbeli Elektromanyetik alan (PEMF) üreteci dalga şekilleri……....64
Şekil 3.10. Darbeli Elektromanyetik alan dalga şeklinin MATLAB gösterimi....65
Şekil 4.1. Elektrik alanın anten üst ve orta düzleminde değişim grafiği…….68
Şekil 4.2. Manyetik alanın anten üst ve orta düzleminde değişim grafiği……..68
Şekil 4.3. Güç yoğunluğunun anten üst ve orta düzleminde değişim grafiği..…68
Şekil 4.4. Diyatermi cihazı etrafında yatay doğrultulardaki güç yoğunluğu değişimi…….……...……...71

Şekil 4.5. Diyatermi cihazı etrafında düşey doğrultulardaki güç yoğunluğu değişimi……...…71
Şekil 4.6. PEMF için güç yoğunluğu……..73
Şekil 4.7. Yaranın açılan ilk kesi durumu……...74
Şekil 4.8. Darbeli manyetik alan uygulandıktan 1 hafta sonraki durumu……...74

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo1.1. Evlerde maruziyet ile ilgili çalışma sonucunda çıkarılan bağıl riskler…….……..17

Tablo1.2 İş sahalarında maruz kalınan güç frekansı alanları üzerine yapılan epidemiyolojik kanser vakaları……...18

Tablo1.3 Değişik modeller için ölçümler…….....30

Tablo1.4. Fantom beyin dokusunun dielektrik özellikleri…….....31

Tablo1.5. İşyerleri için temel büyüklükler ve limitler…….32

Tablo1.6. Genel halk için temel büyüklükler ve limitler…….32

Tablo1.7. ICNIRP türetilmiş limitleri (işyerleri için)……..34

Tablo1.8. ICNIRP türetilmiş limitleri (genel halk için)……..34

Tablo 4.1 Anten düzleminde elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğu değişimi……...67

Tablo 4.2. Holaday HI-3804 Industrial Compliance Meter cihazı ile uzaklığa bağlı ölçüm değerleri…….…….....69

Tablo 4.3. Diyatermi cihazı etrafında yatay doğrultulardaki güç yoğunluğu değişimi……...70

Tablo 4.4. Diyatermi cihazı etrafında düşey doğrultulardaki güç yoğunluğu değişimi……...70

Tablo 4.5. Yara iyileşmesinde 3. gün sonuçları……...75

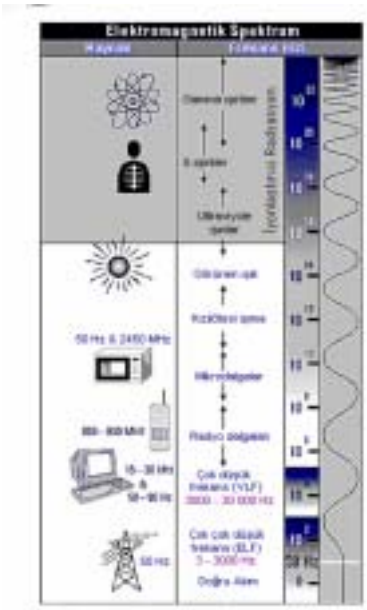
Tablo 4.6. Yara iyileşmesinde 7. gün sonuçları……...75

1. GİRİŞ

Doğal ve birçok yapay kaynak, elektromanyetik enerjiyi elektromanyetik dalgalar halinde yaymaktadır. Bu dalgalar, elektriksel ve manyetik titreşim (frekans) alanlarından oluşur. Bu titreşen alanlar; bitki, hayvan ve insan hücreleri gibi biyolojik sistemleri çeşitli şekillerde etkilemektedir. Bu etkileşimi daha iyi anlamak için, elektromanyetik spektrumu meydana getiren dalgaların fiziksel özelliklerini iyi bilmek gerekir. Elektromanyetik dalga; dalga boyu, frekans veya enerji ile karakterize edilir. Bu üç parametre birbiri ile bağlantılıdır. Ayrıca her bir parametre kendi başına veya birlikte biyolojik sistem üzerine etkili olabilmektedir.

Elektromanyetik dalgalar, insan organizmasında büyük ölçüde karışıklığa sebep olabilirler. Örneğin vücudun molekül ve atomları arasındaki denge kaybolabilir, biyokimyasal faaliyetler etkilenebilir ve en önemlisi hücrenin, dolayısıyla dokuların işleyişinde önemli olan elektriksel yapı bozulabilir. Kalp dolaşım sistemi, bağışıklık sistemi ve sinir sisteminde buna bağlı bozukluklar ortaya çıkabilir. Vücudun bağışıklık sisteminin sürekli zayıflamasının kanser oluşumunu artıran veya kanseri başlatan ya da tetikleyen bir etki yapacağı konusu gündeme gelmiş konulardandır. Çocuklarda kan kanseri riskinin artmasını, kan tablosunun değişmesini, baş ağrısının ve baş dönmelerinin çoğalmasını elektromanyetik alanlara bağlayan çalışmalar vardır. İnsan sağlığı açısından kritik bir risk faktörü oluşturan, elektrik alanların biyolojik etkilerini araştıran çalışmaların sayısı, hızla artmaya başlamıştır (Şeker, 2003).

Elektromanyetik dalgalar, foton denilen küçük enerji paketlerinden oluşmaktadır. Fotondaki enerji frekans ile doğru orantılıdır. Frekans arttıkça, fotondaki enerji miktarı da artmaktadır. Düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar ‘elektromanyetik alanlar’ ve yüksek frekanslı dalgalar ise ‘elektromanyetik radyasyon’ olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca elektromanyetik dalgalar frekans ve enerjilerine göre iyonlaştıran radyasyon (nükleer radyasyon) veya iyonlaştırmayan radyasyon (elektromanyetik radyasyon) diye ayrılmaktadır (Dinç, 2003).



Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrumda önemli frekanslar

Şekil 1.1.'de elektromanyetik spektrum ve ilgili kullanım alanları gösterilmektedir. DC'den 10^{22} Hz'lere dek uzanan spektrumda; 0 Hz-300 GHz arası, iyonlaştırmayan ışınım bölgesi sayılır.

Elektromanyetik spektrumda bölgeler;

a) 3 Hz- 3 kHz arası, çok çok düşük frekans bölgesi
b) 3 kHz – 30 kHz arası, çok düşük frekans bölgesi
c) 10^{12} Hz'lere kadar olan bölge radyo dalgaları
d) 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 atılmaktadır.
e) Görünür ışık frekansları 10^{14} Hz'lerdir. Bu frekansların üstü; iyonlaştırıcı radyasyon bölgesi olup, x ve gama ışınları bu bölgededir.

1.1. Elektromanyetik Büyüklükler ve Birimler

Elektrik alan oluşumu, ortamdaki yüklerin varlığına bağlıdır. Manyetik alan ise, yüklerin hareketli olmasıyla (akım akmasıyla) oluşur. Elektrik alan birimi V/m'dir. Benzer şekilde manyetik alanlar da ortamdaki yüklere kuvvet uygularlar. Ancak tek koşul yüklerin hareketli olmasıdır. Elektrik ve manyetik alanların hem şiddeti hem de yönü önemlidir. Yani vektörel büyüklüklerdir. Manyetik alandan iki şekilde söz edilebilir. Birincisi manyetik akı yoğunluğu B olup birimi, Tesla'dır. İkincisi ise manyetik alan şiddeti H olup birimi, A/m'dır. Bu iki büyüklük (ortam manyetik geçirgenliği ile) birbirine $B = \mu H$ ilişkisi ile bağlıdır. Boş uzayda, $\mu = 4\pi x10^{-7}$ Henry/m olarak alınır.

Kaynaklarından yeterince uzaklarda elektromanyetik alanlar, düzlem dalga olarak kabul edilirler. Düzlem dalgalarda;

a) Dalga cephesi düzlemdir. Elektrik alan, manyetik alan ve dalga yayılım yönü birbirine diktir.
b) Elektrik ve manyetik alanlar eş fazlıdırlar ve |E/H| değeri 377 Ohm'dur. 377 Ohm boşluğun dalga empedansıdır.
c) Güç yoğunluğu; dalga yayılım yönüne dik, birim alandan geçen elektromanyetik güçtür. Birimi W/m^2 olup, elektrik ve manyetik alanlara basit olarak $S=ExH$ ilişkisi ile bağlıdır.

Düzlem dalga için, uzak alan bölgesinde çalışmak gerekir. Elektromanyetik kaynakların yakınında; kaynağın cinsine bağlı olarak elektrik ya da manyetik alan bileşeni, diğerine göre çok baskın olabilir. Hatta bazı bölgelerde sadece elektrik ya da sadece manyetik alan olabilir.

Zamanla değişen elektromanyetik alanlara maruz kalma, vücutta dokularda enerji yutulmasına ve vücut içi akımların akmasına neden olur. Dokularda akan akım ile oluşan elektrik alan arasında; σ doku iletkenliği olmak üzere, $J = \sigma E$ A/m^2 ilişkisi vardır.

1.1.1. Alan Eşitlikleri

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_o} \tag{1.1}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \tag{1.2}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = -\frac{d\Phi_m}{dt} \tag{1.3}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_o I + \mu_o \varepsilon_o \frac{d\Phi_e}{dt} \tag{1.4}$$

Genel biçimde yukarıdaki eşitlikler, Maxwell denklemleri diye bilinirler. Burada; E elektrik alan, B manyetik indüksiyondur. Buradan da;

$$\nabla \bullet \vec{D} = \rho \quad , \quad \nabla \bullet \vec{B} = 0 \tag{1.5}$$

eşitlikleri bulunur. Bu eşitliklerde ise, ρ serbest yük yoğunluğu (C/m^3)'dür.

Zamana bağlı değişen bir manyetik alan (ya da akım), zamana bağlı değişen bir elektrik alan indükler. Bir dielektrik madde içine, bir elektrik alan girebilir. Bir dielektrik malzemeye yeterince elektrik alan (veya potansiyel farkı) uygulanırsa, malzeme bozularak iletken hale gelebilir ve içinden akım geçebilir. Bir iletken malzemeden akım geçerse, joule yasası uyarınca ısı açığa çıkar. Bir iletken malzemenin herhangi bir kesitinden geçen akım şiddeti, malzemenin iletkenliğine ve frekansına doğrudan bağımlıdır. İdeal iletken olmayan maddeye, bir elektrik alan nüfuz edebilir ve bir iletkenlik akımı oluşabilir.

1.1.2. İyonlaştırmayan Radyasyon

İyonlaştıran radyasyona karşı, iyonlaştırmayan radyasyonun, biyolojik sistemlere olan etkisi farklıdır. İyonlaştırmayan radyasyona; 0-300 GHz frekansında, statik ve zaman değişimli elektrik ve manyetik alanlar dahildir. Bu alana; statik alanlar (0 Hz), çok çok alçak frekans alanlar (ELF > 0-300 Hz) ve yüksek frekans alanlar (HF, 300 Hz-300 GHz) girmektedir. İyonlaştırmayan radyasyonun biyolojik etki mekanizması iki tiptir:

a) Termal Olmayan Etki: Gelen dalganın alan şiddeti yeterince küçükse, ısı oluşmaz.
b) Termal Etki: Cismin EM dalgayla etkileşmesinde; artan molekül hareketi ve sürtünmeden dolayı, sistemde ısı artışı ile termal etki ortaya çıkar.

1.1.3. Ölçüm Büyüklükleri

ICNIRP dökümanlarında frekansa ve dalga şekillerine göre temel büyüklükler şu şekilde alınmıştır;

a) 10 MHz frekansa kadar temel büyüklük *J*, akım yoğunluğudur.
b) 110 MHz frekansa kadar ise *I*, akım ele alınır.
c) 100 kHz ile 10 GHz arasında *SAR*, özgül soğurma oranından söz edilebilir.
d) 300 MHz ile 10 GHz arasında darbesel işaretler için *SA*, özgül soğurma kullanılır.
e) 10 GHz ile 300 GHz arasında ise güç yoğunluğundan söz edilebilir.

ICNIRP dökümanlarında sözü edilen sınır değerler ve seviyeler, bilimsel bütün verilerin derlenmesi ve gözden geçirilmesiyle elde edilmektedir. Bu değerlere ulaşmada; kısa ve orta vadeli ve hemen gözlenebilecek adale kasılması, yanma, şok, sıcaklık artması benzeri etkilerden yola çıkılmıştır. Uzun dönemde kanserojen etkiler yaratabileceği gibi etmenler göz önüne alınmamıştır (Sevgi, 2000).

1.2. Biyolojik Etkileşimler

1.2.1. Statik Alan Etkileşimleri

Statik alanlar, durgun ve hareketsiz elektrik yüklerinin meydana getirdiği alanlardır. Statik alanlar ve sağlık hasarları arasındaki bağlantı hakkında, çok az laboratuar çalışması veya epidemiolojik kanıt vardır. Statik alanlarla kanser arasındaki bağlantı aranırken, sadece manyetik alan bileşeni, sağlık için bir tehdit olarak görülmektedir (Polk, 1995).

Manyetik alanlar, elektrik alanlar gibi kolayca ekranlanamazlar. Statik alanlarla rutin maruz kalmalarının incelenmesinde, genellikle manyetik alanın incelenmesi kabul edilir veya bu manyetik alanın indüklediği elektrik alan veya akım olur. DC iletim hatlarının altında statik manyetik alanlar 0.02 mT civarındadır. Halk maruziyetinde en yüksek statik manyetik alan maruz kalmaları ise MR (Manyetik rezonans) cihazlarından kaynaklanır ki bu alanlar 7 T'dan azdır.

Ferromanyetik nesnelerin ve elektronik cihazların doğrudan etkileşimi için alan, 1000 mT'nın üzerinde olmalıdır. Ferromanyetik nesnelerin etkileri için, bir eşik değeri yoktur. Elektronik cihazların ki ise oldukça düşük olup, yüksek çözünürlüklü bir renkli ekran 0.1 mT kadar az bir alan kaynağıdır. Yaşam alanlarında en fazla zararlı olan kaynak ise elektrikli trenlerdir.

İş yerlerinde çalışan, statik alanlara maruz kalan insanlar ise; MR operatörleri, fizik ve biyomedikal kurumlarda çalışanlar (parçacık hızlandırıcılar ile çalışanlar), elektrolitik ortamlarda çalışanlardır. Bazı alüminyum üretim tesislerinde çalışan insanların, uzun periyotlarla 5 ila 15 mT ve max 60 mT'ya kadar alanlara maruz kaldıkları rapor edilmiştir ama diğer çalışma raporları ortalama 2 ila 4 mT olarak bildirilmektedir (Budinger, 1995).

Statik alanlara maruz kalan çalışan insanlar için, kanser ile ilgili çok az çalışma vardır. Budinger ve arkadaşları çalışmalarında; 300 mT alana maruz kalan partikül hızlandırmada çalışanlarda, kanser olayına rastlanmadığını bulunmuştur. Elektroliz hücre kullanılan demir fabrikalarında çalışanların ise 30 mT max. ve ortalama 4 ila 10 mT olmak üzere uzun süre maruziyet aldıkları bildirilmektedir. Parçacık hızlandırıcılarda çalışan bireylerin ise, 0.5 mT kadar ortalama ve bazı saatlerde max. 2000 mT'lık alanlara maruz kaldıkları görülmüştür (Budinger, 1995).

Barregard ve arkadaşları ise; klor üretme tesisinde 10 mT alana maruz kalan çalışanlarda yine kanserli çalışana rastlamamıştır. Ayrıca alüminyum indirgeme tesislerinde yapılmış çalışmalarda mevcuttur. Alüminyum tesislerinde yapılan çalışmalarda; çalışanlar statik alanların etkilerine göre gruplanmamış ama 5-15 mT alana maruz kaldıkları bildirilmiştir. Alüminyum indirgeme tesislerine yapılan çalışmalarda ise, rapor edilen tek kanser lymoretikular tümördür ve sadece tek bir çalışmada görülmüştür (Barregar, 1995).

Nedensel epidemiyolojik kanıtların çok zayıf olmasıyla beraber; statik manyetik alanlarla kanser arasındaki ilişkide, carcinogenicity ile ilgili çok sağlam kanıtlar bulunmaktadır. Kanserin ajanları carcinogenler, genetoksit veya epigenetik başlatıcılar ve destekleyicilerdir. Genetoksit ajanlar, doğrudan hücrenin genetik elemanlarına zarar verebilmektedir. Genetoksinler, birçok çeşit hücreyi etkileyebilirler ve birden çok kanser çeşidine neden olabilir. Genetoksinler etkileri için, genellikle eşik değerlere sahip değildirler. Böylece genetoksin dozu düşürüldüğünde risk azalır, ama hiç yok edilemezler

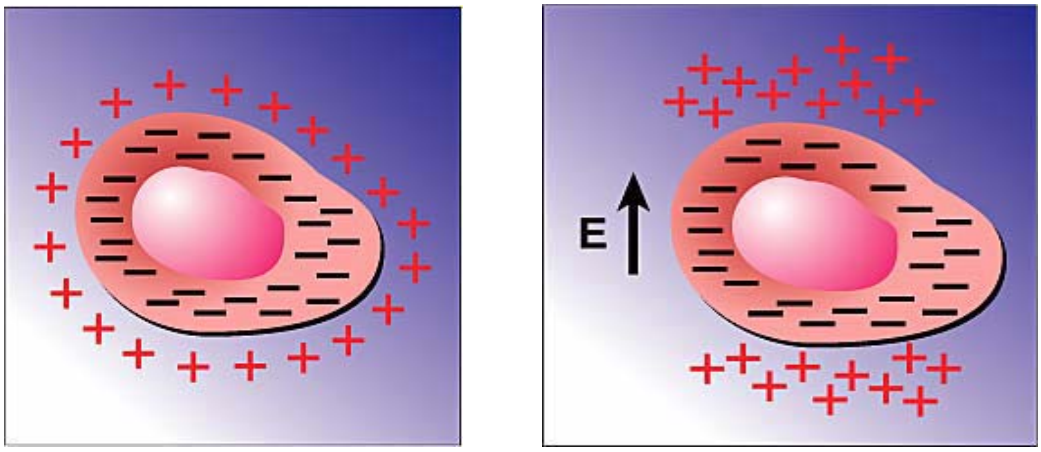
Statik manyetik alanlar, genotoksik değildir. Geniş bir alanda; statik manyetik alanlar için tüm organizma ve hücresel genotoksitlik çalışmaları yapılmıştır. Bütün bu çalışmalar sonunda statik manyetik alanların genotoksit olduğu hakkında şimdiye kadar hiçbir kanıt bulunamamıştır.

(Beniashvili vd., 1987); 0.02 mT'lık alana 24 saat boyunca maruz kalan farelerde, hiçbir meme kanserine rastlanmamıştır. 1000 mT'lık maruz kalmada farelerde, hiç mutasyona rastlamamış ve diğer araştırmalar 1000-3700 mT'lık alanlara maruz kalmada meyve sineklerinde küçük miktarda mutojene (kromozom bozukluğu) rastlanmıştır. 24-72 saat boyunca 3000-4700 mT'lık statik manyetik alana maruz bırakılan farelerde, kemik iliği hücrelerinde DNA hasarına rastlandığı rapor edilmiştir. Statik manyetik alanlar; DNA iplik kopmasına, kromozom sapması, kardeş kromotit yer değiştirmelerine, hücre değişmesine, mutasyonlara veya mikro çekirdek şekillenmesine neden olmamaktadır.

1.2.2. 50 Hz Alan Etkileşimleri

Bu alanların esas kaynakları, enerji iletim hatları ve yüksek gerilim şalt tesisleridir. Ama bu etki mekanizması, ELF alanlarının zorunlu çevresel konsantrasyonları, çocuklardaki kanser hastalığının nedeni olarak görülmemelidir. ELF alanında bir yüklenme olması, elektrik akımı geçmesinden bağımsız olarak meydana gelir. Böyle elektriksel bir alan insan vücuduna neredeyse hiç girememekte etki etmemektedir. Bazı araştırmalar bu tip alanların maruziyeti ile; çocuk kanserleri ve başka sağlık sorunları arasında paralel bir gidiş gösterse bile, birçok çalışmada bu görüşü desteklememektedir. Bazı epidemiyolojik çalışmalar ELF alanları kanser ve özellikle çocuk kanserleri arasında bir bağlantı kursa da bunu desteklemeyen çalışmalar da vardır. ELF radyasyon yaşam ortamlarında; motorlar, fluoresan lambalar ve televizyon ekipmanı gibi uygulamalar şeklinde ortaya çıkmaktadır (Davis, 1993).

Biyolojik malzemelerin çoğu; aşırı homojen olmayan yapıda oldukları için, elektrik alanında önemli yerel değişiklikler görülmektedir. Bu durum; moleküllerin, iyonların ve membranların hareketine ayrıntılı biçimde baktığımızda açık bir şekilde ortaya çıkar. Düşük frekanslı ve düşük şiddetteki EM alanlar, hücrelerdeki Ca^{++} alınma ve salgılanma dengesini ve beyindeki Na+ ve K+ miktarlarını değiştirmektedir. Bu alan etkisiyle oluşan ve deneyle kanıtlanan LH, FSH gibi hormon değişikliklerinin, bu iyon değişikliklerine bağlı olabileceği düşünülmektedir (Schwan, 1985).



Şekil 1.2. Hücre zarı etkileşimi

Elektriksel sinyaller; vücudun bir bölümünden diğer bölümüne, bilgi iletiminde ve biyolojik işlemlerin kontrolü için önemlidir. Basınç, sıcaklık, ışık, ses gibi etkilerden dolayı; sinir hücrelerinden beyine, elektriksel işaretler gider. Dışarıdan radyasyona maruz kalma sonucu oluşan elektriksel indüklenmenin, çeşitli biyolojik organları nasıl etkileyeceğine dair araştırmalar yapılmaktadır. Şekil 1.2.'de elektrik alanın; hücre zarında yarattığı, yük yer değiştirmesini göstermektedir (Davis, 1992).

Hayvan hücre ve dokusu üzerinde laboratuar çalışmalarında; çok çok düşük alanların, aşağıdaki etkilerinden şüphe edilmektedir.

a) Hücreler arası aktiviteyi etkilediği,
b) Hormon salgısını etkilediği,
c) Vücudun koruma sistemini etkilediği,
d) Genç insanların gözünde zamansız katarakt oluşturduğu,
e) Yüz derisinde döküntüler meydana getirdiği,
f) Embriyolarda anormal gelişmeleri etkilediği,
g) Bağışıklık sistemini bozduğu,
h) Halusinasyon, baş ağrısı ve depresyon oranlarında artışa neden olduğu bilgileri mevcuttur (Şeker, 1997).

Elektrik ve manyetik alanlarla bir hastalığın oluşumu arasında; herhangi bir ilişkinin söz konusu olup olmadığı konusundaki en önemli bulgular, epidemiyolojik çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Epidemiyolojik çalışmaların amacı; bağıl riski hesaplayarak, elektrik ve manyetik alan gibi belirli bir etkiye maruz kalma ile belirli bir hastalık veya diğer sağlık sorunları arasında bir bağıntının olup olmadığını saptamaktır (Davis vd., 1993).

Bağıl risk; bir etkiye maruz kalan kişiler arasındaki hastalık riskinin, bu etkiye maruz kalmayan genellikle kontrol topluluğu olarak gösterilen kişiler arasındaki hastalık riskine oranıdır.

$$\text{Bağıl risk} = \frac{\text{Etkiye maruz kalan kişilerdeki risk}}{\text{Etkiye maruz kalmayan kişilerdeki risk}}$$

Eğer bağıl risk oranı birden daha büyükse; çalışmanın gerçekleştirilmesinde veya düzenlenmesindeki bir bozukluktan ortaya çıkan bir ön yargı nedeniyle, hastalık ile etki arasındaki ilişki yapay mı yoksa gerçek mi diye düşünülebilir. Örneğin gözlemlenen bağlılık; eğer uygun olarak toplanmayan verilerden ortaya çıkmışsa, sahte bir bağlılık olabilir. Hatta gözlemlenen bağlılık gerçek olduğu zaman bile; bir etkiye maruz kalma sonucu mu hastalık ortaya çıkmıştır, yoksa hem bir etkiye maruz kalma hem de başka bir faktörün ortaya çıkması mı hastalığın nedenidir? Böyle bir bağlılık; diğer sık olarak dikkate alınmayan faktörler yüzünden, sahte bir bağlılık değildir. Fakat şartsız bir bağlılıktır (Davis vd., 1993).

Elektrik ve manyetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, elde edilen bulgular tatmin edici değildir. Konuyla ilgili olarak 1984 ve 1987 yılları arasında yayınlanan birçok çalışmada; biyolojik sistemlerin, şebeke frekansındaki elektrik ve manyetik alanlara karşı duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır (Davis, 1992).

Yayınlanan bu çalışmalardan biri olan New York Güç Hatları Danışma Komitesi'nin (NYS) raporunda; elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmaktan kaynaklanan biyolojik etkilerin mümkün olacağı, ayrıca çocuk kanserlerindeki artışla birlikte başka sağlık sorunlarına da yol açabileceğinin muhtemel olduğu sonucuna varılmıştır (Foster, 1996).

Konuyla ilgili iki rapor da Dünya Sağlık Organizasyonu (WHO) tarafından yayınlanmıştır. Bu raporların ilkinde; elektrik alanının 10 kV/m'yi aştığı yerleşim ve işyeri sahalarında, elektrik alanlarına maruz kalmanın sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Bu sınırlamaya 1 kV/m'den 10 kV/m'ya kadar alan şiddetleri için uyulması önerilmiştir.

İkinci (WHO) raporu; zamanla değişen manyetik alanların, insan üzerindeki etkileri konusunda mevcut verilerle ilgilidir. Raporda 50-60 Hz frekanslar için şu sonuçlara varılmıştır:

a) 5 mT'nın altındaki manyetik alanlara maruz kalan insanlarda, önemli biyolojik etkiler görülmemiştir.

b) 5 mT'le 50 mT arasındaki alanlara kısa süreli maruz kalmalarda; küçük geçici sağlık sorunlarına neden olabilen, biyolojik etkiler görülmüştür. Fakat uzun süreli (birkaç saat, gün veya hafta) maruz kalmalarda, sağlık sorunlarının neler olabileceği bilinmemektedir.

c) 50 mT'dan büyük alanlara maruz kalma, değişik sağlık sorunları meydana getiren çeşitli hücre uyarı seviyelerinin aşılmasına neden olur.

Bahsedilen NYS ve WHO raporlarının vardığı sonuç, kullanılan verilerin güvenli veya güvensiz olan seviyelerini belirlemek için yetersiz olduğudur (Davis vd., 1993).

İnsan sağlığı üzerinde; ELF EM alanların muhtemel sağlığa zararlı etkileri hakkında ilk incelemeler, Sovyetler Birliğinde 1960'ların sonu 1970'lerin başlarında yayınlanmıştır. Bu çalışmalar ile 2.6 kV/m'ye kadar elektrik alanına maruz kalan şalt sahasında çalışan işçilerde; baş ağrısı, sindirim bozukluğu, kardiyovasküler değişimler, uykusuzluk, sinirlilik artması gibi maruziyetle ilgili semptomlar ortaya konulmuştur. Bu bulgular, Sovyetler Birliğinde ve çeşitli ülkelerde araştırmaların artmasına neden olmuştur.

50 Hz'de 1, 15 ve 20 kV/m'lik alanlara kısa periyotlar için maruz kalan 100 gönüllü için; kapsamlı klinik değerlendirme neticesinde, alanla ilgili sadece beyaz kan hücrelerinde hafif artma, reaksiyon süresinde hafif azalma ve norepinephrine (sempatik sinir transmitteri) seviyesinde hafif yükselme gibi birkaç etki gözlenmiştir. Ancak uzun süreli etkilenmede; dokunun kümülatif fonksiyonlarında değişimler konusunda, yeterli çalışma görülmemektedir.

ELF alanlara maruz kalan hayvanlardaki; biyolojik etkilerin çoğunluğunun, doğrudan ya da dolaylı olarak sinir sistemiyle ilgili olduğu gözlenmiştir. Sinir sistemi, elektriksel sinyallere uyumlu işlemler ve dokulardan ibarettir. Çevresi ile etkileşiminde bu sistem fonksiyonel ve yapısal olarak karmaşıktır. Dokunun ve organların ELF alanlarıyla etkileşimin temel karakteristikleri ile gözlenen biyolojik sonuçlar arasındaki muhtemel bağlantıları belirlenebilmektedir (Bowman, 1988).

1980'de Fulton ve arkadaşları Rhode Island'da, Wertheimer ve Leeper çalışmasının esasını tekrarlamak için, 1964-1978 arasında 20 yaşına kadar olanlarda sadece Lösemi vakalarıyla ilgilenerek bir rapor hazırlamıştır. Rhode Island Hastanesi dosyalarında 119 hasta ve onların 209 adresi seçilerek, bu hastalar ile ilgili rutin olarak tutulan kayıtlar ve tam adres hikayeleri tespit edilmiştir. Her hasta için aynı yıl doğan iki kontrol deneği; doğum kayıtlarından seçilerek, 240 kontrol adresi elde edilmiştir.

Lösemi hastalarının 209 adresi ve 240 kontrol adreslerinde bulunan her ikametin, 50 metre civarında bulunan güç hatları işaretlenerek maruziyet değerleri Wertheimer ve Leeper prosedürü takip edilerek oluşturulmuştur. İlk çalışmaların aksine, çocuk lösemisi ile ilişkisi kurulamamıştır (Fulton, 1980).

1986'da Tomenius, İsveç Kanser kayıtlarını kullanarak, çocukluk vaka-kontrol çalışması yapmıştır. Kontrol denekleri; kasaba ve ilçe doğum kayıtlarından, doğum günü ve cinsiyet işaretlenerek seçilmiştir. Çalışma, ilçede doğan ve halen burada yaşayan 716 hasta ile kontrol deneği ile yapılmıştır. 3 mG ya da daha fazla manyetik alanlar 48 konutta ölçülmüştür. Konutlardaki manyetik alan ölçümlerinin değerlerinin 0.004 den 19 mG'a kadar olduğu görülmüştür. İncelenen 150 metre sınır içerisinde bütün tümör vakalarının iki kat fazla olması ve sinir sistemi neoplasmlarında (kanser) artış, Wertheimer ve Leeper'ın bulgularıyla uygundur (Tomenius, 1986).

1993'de Danimarka'da yapılan çalışmada; 0.4 mT'dan daha yüksek manyetik alana çocukların maruziyeti ile, çocukluk kanserinin ana tipleri arasındaki ilişki tespit edilmiştir. 1993'de tamamlanan iletim hatlarının 500 metre yakınında yaşayan çocuklar ile ilgili bir çalışmada; alüminyum fabrikasındaki işçilerde, yüksek akım bulunan arıtma işleminde çalışmalarda, lösemi ve lenfomadan ölümlerin beş kat fazla olduğu bulunmuştur. Telefon kablosu ile çalışanlarda, diğer telefon çalışanlarına göre löseminin yedi kat fazla olduğu tespit edilmiştir.

EM alanların; (50 Hz, 100 µT) yüksek sıcaklıkla birlikte, Drosophila embriyogenezi üzerine olan etkisine bakılmış ve embriyonik pattern anormalliklerinde artış gözlenmiştir. Deneyde 3 grup oluşturulmuştur.

1. grup; kontrol grubu ve herhangi bir stres faktörüne maruz bırakılmamış,

2. grup; sadece yüksek sıcaklık stresine maruz bırakılırken,

3. grup; hem yüksek sıcaklık hem de ELF-EMF streslerine maruz bırakılmıştır.

Deney sonucunda yapılan incelemeler, 3.grupta meydana gelen pattern anomalilerinin, 2.gruba göre çok daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak ELF-EMF stresi ikinci bir stres faktörü ile kümülatif etki göstermiştir (Michel vd., 1999).

1.2.2.1. İnsanların Büyümeleri Üzerindeki Etkileri

Elektrik ve manyetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda; 1989 yılında Amerika'da düzenlenen bir panelde sunulan çalışmalarda, alanların biyolojik etkilerinin özellikle hücreler ve dokular üzerinde olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla kanser, üreme sorunları ve hastalıkların oluşumu sistematik olarak büyüme kontrolündeki düzensizlikler nedeniyle meydana gelmektedir (Davis vd., 1993).

Çalışmaların hedefi; elektrik ve manyetik alanlardan etkilenebilen hücreleri kontrol eden düzenleyici proseslerdeki bileşenlerin, nicel ve nitel olarak belirlenmesidir. Buna göre yapılan araştırmalar, iskelet dokuları da dahil memeli hayvanların doku ve hücrelerini geniş bir spektrumda inceleyerek sürdürülmekte olan deneysel çalışmalardır. Biyokimyasal ve moleküler parametreler üzerindeki etkiler, hücre fonksiyonlarıyla ilgili olarak hücre şekli ve yapısı dikkate alınarak incelenmiştir.

Biyolojik etkiler hakkında ilk bilgiler, bakteriler ve daha küçük yapıdaki hücreler üzerinde yapılan araştırmalar sonucu elde edilmiştir. Bu ön çalışmalar elektrik ve manyetik alanların hücreler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde faydalı olmuştur. Bununla birlikte; bu bilgiler insana uygulanırken, aradaki fark dikkate alınmalıdır. Çünkü bu organizmalar, memelilere göre daha basit yapıya sahiptir (Davis vd., 1993).

Thomas S. Tenforde tarafından yapılan bir çalışmada; elektrik ve manyetik alanların, özellikle hücre zarında ve Ca^{++} iyonu tarafından meydana getirilen işaret yolunda oluşturacağı değişiklikler incelenmiştir. Yine bu çalışmada; birçok duruma göre elektromanyetik alan etkisi altındaki hücrelerin, değişen fonksiyon özellikleri araştırılmıştır (Tenforde, 1993).

ABD Teknoloji Değerlendirme Bürosunun iletim hatlarının ürettiği elektrik ve manyetik alanların halk sağlığı üzerindeki etkileri konulu raporunda; elektrik ve manyetik alanlar ile hücrenin etkileşiminin hücre zarında olduğunu ve alanların elektromanyetik vücudun elektrik düzeninde oluşturabileceği küçük bir işaret değiştirmesinin bile, hücrenin çalışmasında kritik öneme sahip biyokimyasal değişiklikler için yeterli olduğunu belirtmektedir. Ayrıca elektromanyetik alanlar normal büyüme işlemini yürüten hücrelere etki ederek özelliklerini bozmaktadır (Şeker, 1994).

Yapılan bir başka çalışmada; her gün kısa bir süre hastalar manyetik alana maruz bırakıldığında, manyetik alanın hücre yapısına veya dokulara zarar vermediği gözlenmiştir. Fakat bu, uzun süre etki altında kalındığında aynı sonuçların alınacağını göstermez (Davis, 1992).

1.2.2.2. Kanser Oluşumu Üzerine Etkiler

Yüksek gerilimli sistemlerin avantajı, ekonomikliği ve mühendislik motivasyonuna uygun oluşudur. Örneğin tek bir 765 kV'luk hattın konstrüksiyon maliyeti 30 adet 138 kV'luk hattın konstrüksiyon maliyetinin onda biridir. Aynı zamanda birim güç başına müsaade edilen iletken geçiş mesafesinin; sadece 1/13' ünü kullanarak, 30 adet 138 kV'luk hattın taşıdığı enerjiyi taşır. Ancak 765 kV'luk hattın oluşturduğu elektromanyetik alan 138 kV'luk hattın oluşturduğundan fazladır (Denno, 1992).

1977'de Minnesota ve Kuzey Dakota arasında düşünülen 400 kV'luk doğru gerilim hattının yapımı esnasında, halkın muhalefeti yoğun olmuştur. 1978'de hat tamamlandıktan sonra çevrede oturanlar burun kanamaları, çocuk düşürmeleri, deri tahrişleri ve stres gibi sağlık problemlerinden şikayet etmişlerdir. Bu şikayetler sonucu Minnesota Çevresel Özellikler Kurulu'nun başlattığı araştırmalarda, elektromanyetik alanların meydana getirdiği söylenen olumsuz etkilerle ilgili hiçbir kanıt bulunamamıştır (Denno, 1992).

Douglas tarafından yapılan bir çalışmada; 765 kV'luk bir hattan bir-iki yüz metre uzaklıkta bulunan bir insan 2 kV/m'lik bir elektrik alana maruz kalırken, hattın altında bulunan bir insanın 10 kV/m'lik bir alana maruz kalabileceği gösterilmiştir (Douglas vd., 1984).

1979'da yayınlanan bir epidemiyoloji dergisinde Wertheimer ve Ed Leeper'in elektromanyetik alanların kanser riski üzerindeki etkileri konusunda yaptıkları araştırmalara yer verilmiştir. Bu araştırma çalışmasında, enerji iletim hatları tarafından üretilen 300 nT seviyesindeki alanların, çocuk kanserlerinde önemli bir şekilde etkili olduğu belirtilmiştir (Maclaine, 1994).

Bununla birlikte Brown Üniversitesi araştırmacılarından bir grup; aynı konuyla ilgili yaptıkları araştırmada, Wertheimer ve Leeper tarafından bulunan sonuçları destekleyici hiçbir veriye rastlamamışlardır 1980'de, Wertheimer ve Leeper tarafından yapılan çalışmaya benzer bir çalışma daha başlatılmıştır ve bunun sonucunda yüksek gerilim hatlarının meydana getirdiği elektromanyetik alanlarla, hatlara yakın yerlerde yaşayan çocuklarda görülen kanser arasında zayıf bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Denno, 1992).

1987'de Danver'da David Savitz, yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu elektromanyetik alanlarla çocuk kanserleri arasındaki ilişkinin derecesini belirlemek ve Wertheimer tarafından yapılan çalışmaları incelemek üzere yaptığı araştırmalarda yüksek manyetik alan etkisi altında kalan çocuklarda görülen kanserin, etki altında kalmayanlara göre 1.6 kez daha fazla olduğunu tespit etmiştir (Maclaine, 1994).

Tablo 1.1. Evlerde maruziyet ile ilgili çalışma sonucunda çıkarılan bağıl riskler

Kanser Çeşidi	**Çalışma Sayısı**	**Ortalama Bağıl Risk**	**Bağıl Risk Aralığı**
Çocuk kan kanseri	15	1.25	0.8 - 2.0
Çocuk beyin kanseri	8	1.3	0.8 - 1.9
Çocuk lenf kanseri	7	2.0	0.8 - 5.0
Çocuklardaki tüm kanser	6	1.4	0.9 - 1.7
Yetişkin kan kanseri	6	1.15	0.85 - 1.65
Yetişkin beyin kanseri	4	0.95	0.70 - 1.40
Yetişkinlerdeki tüm kanser	8	1.10	0.80 - 1.35

1990 yılında bu bulgular üzerinde yapılan iki yıllık çalışmadan sonra; Amerikan Çevre Koruma Ajansı tasarı halinde yayınladığı raporunda, manyetik alanların kanserojen etkisinin muhtemel olduğu ve bunların DDT ve formaldehit maddeleriyle aynı risk kategorilerinde yer aldığını belirtmiştir. Tablo 1.1.'de yaşam alanlarında karşılaşılan, bağıl risk oranları verilmektedir.

Ancak rapor Amerikan Hükümeti tarafından incelenmiş, verilerin yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. İngiltere'de Ulusal Radyolojik Koruma Komitesi tarafından yaptırılan bir araştırmada, çok düşük frekanslı alanların kanserojen etkilerinin kesin olduğunu gösteren bir veri olmadığı belirtilmiştir. Sonuçlar farklı olmasına karşın, bu sonuçları destekleyen bazı zayıf bulgular da vardır. Bu bulgular beyin kanseri ihtimalinin, lösemiden daha zayıf olduğunu göstermektedir (Maclaine, 1994).

Tablo 1.2. İş sahalarında maruz kalınan güç frekansı alanları üzerine yapılan epidemiyolojik kanser vakaları

Kanser Çeşidi	**Çalışma Sayısı**	**Ortalama Bağıl Risk**	**Bağıl Risk Aralığı**
Kan kanseri (tüm çalışmalar)	38	1.30	0.80 - 2.50
Kan kanseri (yetişkinlerde)	8	1.20	0.60 - 2.50
Beyin kanseri	29	1.20	0.90 - 2.20
Lenf kanseri	11	1.20	0.90 - 1.80
Akciğer kanseri	14	1.05	0.65 - 1.45
Kadın göğüs kanseri	8	1.10	0.85 - 1.50
Erkek göğüs kanseri	10	1.25	0.65 - 2.80
Tüm kanser çeşitleri	15	1.05	0.85 - 1.15

Elektromanyetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda yapılan epidemiyolojik çalışmalar sonucunda, elektromanyetik alanlar kanser oluşumunda etkilidir şeklinde bir sonuç çıkmamıştır. Tablo 1.2.'de çalışma alanlarından elde edilen, bağıl risk oranları verilmektedir (Davis vd., 1993).

Elektromanyetik alanların kanser oluşumu üzerinde etkisi varsa, kanser vakalarının bağıl riskten fazla olması gerekmektedir. Ayrıca elektromanyetik alanların bütün yeryüzüne etkisi söz konusu olmasına ve uygulama alanların da hızla artmasına rağmen, kanser vakalarında önemli bir artış gözlenmemiştir. Fakat bu sonuçlar, elektromanyetik alanların olumsuz etkilerinin göz ardı edilmesi gerektiği anlamına gelmemelidir (Savitz, 1993).

1.2.2.3 Üreme Üzerindeki Etkiler

Elektromanyetik alanların üreme üzerindeki etkileri incelenirken; araştırmacıları en fazla uğraştıran konu, üremeyle ilgili her problemin birçok nedeni olması ve bu nedenlerin genellikle birbiriyle ilişkili olmasıdır. Dolayısıyla çalışmalar; rastlantı sonucu oluşan üreme problemleriyle, elektromanyetik alan etkisiyle oluşan problemler arasındaki fark üzerinde yoğunlaşmıştır.

Örneğin elektromanyetik alan gibi çevresel etkilerin; embriyonun gelişimi üzerinde meydana getireceği etkileri tahmin etmek, önemli bir problem teşkil etmektedir. Embriyonun büyük bir oranı, hamileliğin başlangıç dönemlerinde kaybedilir. Bunların %50'si ilk üç haftada olmaktadır. Dünyaya gelen bebeklerin %3 ve %6 arasındakilerde çeşitli sakatlıklar görülmektedir. Fakat bunların değişik sebepler sonucu olduğu bilinmektedir (Davis vd., 1993).

Embriyonun gelişimini etkileyen birçok faktör şu şekilde sıralanabilir;

a) Embriyonik safhalar,
b) Başlangıç olayları,
c) Tür farkları.

Elektromanyetik alanlarla, türde bir değişme olur veya olmaz; ancak etkinin oluşturacağı değişikliklerin, organizmanın büyüklüğüyle ilişkili olduğu açıktır. Farklı türler arasında karşılaştırılma yapıldığında, doz-tepki ilişkisinin son derece önemli olduğu anlaşılmıştır (Davis vd., 1993).

Elektromanyetik alanların; üreme üzerinde olumsuz etkileri olduğunu veya böyle bir potansiyele sahip olduğunu iddia etmek için, konuyu tutarlı ve güvenilir nedenlere dayandırmak gerekmektedir (Tenforde, 1993).

İnsan üremesine etkileri konusunda yapılan çalışmalarda, elektrik ve manyetik alanları meydana getiren üç kaynak üzerinde durulmuştur. Bunlar;

a) Televizyon ve bilgisayar ekranları,
b) Enerji nakil hatları ve elektrikli aletler,
c) Tıbbi teşhislere ait cihazlar.

Televizyon ve bilgisayar ekranlarının meydana getirdiği alanların; üreme üzerindeki etkisi konusunda yapılan çalışmalar neticesinde, herhangi bir zararlı etkilerinin olmadığı sonucuna varılmıştır (Davis vd., 1993).

Üreme problemleriyle ilgili olarak, hayvanlar üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. En fazla kullanılansa civciv embriyosu olmuştur. Çalışma mekanizması bakımından civciv embriyosu uygun olmakla birlikte; insanlar üzerindeki muhtemel üreme etkilerinin tayininde daha güvenilir bulgular için, çalışmaların memeliler üzerinde tekrarlanması gerekir. Civciv embriyoları üzerinde yaklaşık 15 deney yapılmış; ancak tutarlı veriler elde edilemediğinden, alan etkilerinin üreme problemi oluşturduğuna dair bir sonuca varılamamıştır.

Bir başka çalışma ise, inekler üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada inekler; dört ay gibi bir süre yüksek gerilim hatları altında bırakılmalarına rağmen, üreme özelliklerinde hiç bir bozukluk görülmemiştir. Benzer bir araştırma da fareler üzerinde yapılmış, onlarda da herhangi bir üreme problemine rastlanmamıştır (Davis vd., 1993).

1.2.2.4 Sinir Sistemi Üzerindeki Etkileri

Davranış değişiklikleri, sinir sistemi problemlerinin başlangıcına işaret olabilir. Davranışlar; sinir sistemi faaliyetlerine oranla gözlenebilir olduğundan, elektromanyetik alanların etkisi konusunda daha fazla bilgi edinilmesini sağlamıştır. Çoğu zaman büyük davranış değişiklikleri olmasına rağmen, sinir sisteminde yapısal bir zarar tespit etmek mümkün olmamaktadır. Elektromanyetik alanların hem davranışlar hem de sinir sistemi üzerindeki etkileri belli koşullar altında incelenmiş, fakat bu iki durum içinde veriler son derece sınırlı kalmıştır.

Elektrik alanın öğrenilmiş davranışlar üzerindeki etkileri, laboratuar hayvanları üzerinde incelenmiştir. Ayrıca bu konuda yapılan kapsamlı literatür araştırmaları da göstermiştir ki, küçük istisnalar dışında elektrik alanın öğrenilmiş davranışlar üzerindeki etkisi çok az olmaktadır (Davis vd., 1993).

Elektrik alanın etkileri arasında en önemlisi, beyin dokusunda bulunan kalsiyum iyonları üzerindeki olumsuz etkileridir. Yapılan yeni çalışmalar; elektrik alanının kalsiyumlu dokular üzerindeki etkisinin, özellikle alanın frekansına ve şiddetine bağlı olduğunu göstermiştir (Şeker, 1994).

Son yirmi yılda; manyetik alanın etkileri konusunda yapılan birçok araştırmada, manyetik alanın genel davranışlar üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. Fakat laboratuarlarda insanlar üzerinde yapılan incelemeler, manyetik alanların genel davranışlar üzerinde herhangi bir etkisi olduğuna dair bir sonuç vermemiştir. Araştırmalar manyetik alanın, elektrik alandan daha etkili olduğunu göstermektedir. (Davis vd., 1993).

Fareler üzerinde yapılan bir başka araştırmada ise; fareler önce ödüllendirilecek şekilde eğitilip, daha sonra elektrik ve manyetik alanların etkisi altında bırakılmıştır. Bu alanların etkisi altında kalan farelerin, etki altında kalmayanlara göre cevap verme oranlarında bir azalma görülmüştür. Elektrik ve manyetik alanlar hayvanlar tarafından fark edilebildiğinden, hayvanlar üzerinde kısa süreler için hafif bir stres görülmüş olmasına rağmen, aynı sonuç uzun süreler için geçerli olmamıştır (Davis vd., 1993).

1.2.3. 27 MHz Alan Etkileşimleri

(Brown-Woodman vd.,1988) farelerde teratolojik (fetüse zararlı) etkiler için, daha yüksek oranda *SAR* maruziyetinin gerekli olduğunu işaret etmiştir. Sprague-Dawley farelerini gebeliğinin 9. gününde bir diyatermi cihazıyla, RF alanlara maruz bırakmıştır. Elektrik ve manyetik alanın genliği, 33 kV/m ve 0.8 A/m ve tahmin edilen tüm vücut *SAR* değeri de 11.2 W/kg'dır. Bu yöntemle yaşayan fetüsların, vücut ağırlıklarında, önemli ölçüde azalmalar ve tümünde çeşitli bozulmalar gözlenmiştir. Mikrophthalmia en yaygın görülen bozulmadır. 4.0^{o}C'den 3, 5, 10 ya da 15°C dereceye kadar olan sıcaklık yükselmeleri, benzer sürekli bağımlı sonuçlar ortaya koymuştur. Bunun 10-15 dakika süresince 3.5^{o}C olması, daha fazla öldürücü ve sıra dışı fetüs oranındaki artışa sebep olmuştur.

(Tofani vd., 1986) farelere gebeliğinin 0-20, 0-6 ve 6-15 günlerinde; 20V/m ve 0.05 A/m büyüklüğünde, sürekli 27.12 MHz RF EMF uygulamıştır. Bu alan büyüklüğünde tahmin edilen *SAR* oranı, yaklaşık olarak 0.00011 W/kg'dır. Bu EMF'ye maruz bırakılan farelerin yavru ağırlıkları, kontrol grubuna göre daha düşüktür. Kafatası kemiklerinde; yetersiz sertleşme olayı ise, daha büyüktür. Kaydedilen etkilere, ısıl olmayan ve uzun süreli maruz kalmaların neden olduğu tahmin edilmektedir.

(Lary vd., 1982) dozaj tepkisi ile, RF EMF'nin vücut ısısını artıran içsel indükleme alanları arasındaki etkisi ve farelerde doğum bozuklukları konusunun araştırılması üzerine çalışmıştır. Gebe fareler; gebeliklerinin 9. gününde 27.12 MHz RF EMF'ye maruz bırakılmıştır. Tüm vücut *SAR* değeri, 10.8 W/kg'dır. Kolonik sıcaklık derecesi 41, 41.5, 42, 42.5 ve 43°C'ye ulaştığında, bu maruziyeti sona erdirilmiş ve fareler 20.günün sonunda ötenazi edilmiştir. Sonuç olarak; teratolojik etkilerin eşik sınırı, 41.5^{o}C'ye ulaşmaktadır. Kolonik sıcaklık 43°C'ye ulaştığında, maruziyeti sona erdirilmiştir (süre 20-40 dak). Her fetüste çeşitli anormallikler; kısa kuyruk, el kusurları ve düşük ağırlık gibi anormallikler görülmüştür.

(Reite vd., 1994) enerji emisyon cihazı ile 42.7 Hz AM modüle edilmiş 27.12 MHz RF enerji kullanmışlardır. 3 saniye on, 1 saniye off olarak 15 dakika maruziyetten sonra geniz mukozasında ölçülen *SAR* 10 W/kg'dır. Bu maruziyet, önemli uyku bozuklularına sebep olmuştur. Bu etki büyük olasılıkla, hipotalamusun ön tarafının ısınmasından olduğu düşünülmektedir. Çünkü verici ünite; bu bölgeyi maruziyet altına aldığında, etkilenme artmaktadır.

Anderson ve arkadaşları, RF EMF'nin E.coli ve S.typhimurium için mutajenik olup olmadığı konusundaki araştırmalarında, 10 ml hacimde tüpler; paralel plakalar kullanılarak 27.12 MHz'de 72 V/m (*SAR* 3 W/kg) ya da 27.12 MHz'de Helmholtz bobiniyle 20 A/m (*SAR* 20 W/kg) maruz bırakılmıştır. Bazı nesillerin çeşitli maruz bırakılmalarına bakıldığında; bazı gruplar yüksek gelişim gösterirken, diğerlerinde düşük bir gelişim gözlenmiştir. Bu değişiklilerin çoğu anlamlı değildir fakat, RF EMF'ye maruz kalanların trendlerinin yükselişinde bir azalma görülmüştür. Mutant (kromozom bozukluğu) sayıları dışında, diğer azalış ve artışlar anlamlı değildir.

(Bini vd.,1986) İtalya 'da çeşitli plastik yapıştırma işyerlerinde; pek çoğunun 27.12 MHz, çok az kısmının da 13.56 MHz olduğu bir odada, 67 adet sıcaklık kontrolü hakkında ölçüm yapmışlardır. Araştırmacılar muhtemel sağlık etkilerini araştırmak için, 63 bayan işçiyle görüşmüşlerdir. Pek çok bölümde elektriksel alan, İtalya'da belirtilen limitleri aşmış durumdadır. Yetkililer bu kaçak yapan alanların, büyük oranda hemen bu bölümlerin içinde hapsedildiğini belirtmişlerdir. Testler sonucunda, laboratuar şartları genel sağlıklarında bir tehlike oluşturmamaktadır ama 30 kişide göz yanması ve bacakların üst kısmında ağrılar tespit edilmiştir.

Diğer önemli mesleki maruz kalmaya örnek, 27.12 MHz'in hastanelerdeki kullanımıdır. Genel olarak 27.12 MHz'i derin tümör yakmalarında ve diyatermi cihazında kullanılır. ABD Hava Kuvvetleri personelinin sağlık taramasında, mesleki olarak RF EMF'ye maruz kalma etkilerini araştırılmıştır. Yüksek oranda maruz kalanlarla, düşük oranda maruz kalan grupların sağlık durumunda istatiksel olarak önemli bir farkın olmadığını ortaya konulmuştur (Milham, 1985).

Uygun olarak dokunun yakılması için; 27.12 MHz (dalga boyu 11 m) bir cihazın kullanımı, oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Diyatermi uygulamasında, 'skin depth' oldukça yeterlidir. Yakılmak istenen alanın seçiminde, operasyon süresi önemlidir. Tüm diyatermi cihazları; değişken seviyeler ve zaman kontrolü ile donatılmıştır. Ticari RF ısıtıcıları ve dielektrik ısıtıcı alanları; operatör bilgileri dışında, ısıtma potansiyeline sahiptir. Daha genel kontrolsüz alanlar; uygulama kabloları ve konnektörlerden yayılır. RF enerjinin gösterilen istenmeyen özellikleri, doku yakılmasından kaynaklanmaktadır (Adair, 2003).

1.3. Maruziyet Limitleri

1974 yılında IRPA (International Radiation Protection Association) Uluslararası Radyasyondan Koruma Kurulu, NIR (Non-Ionizing Radiation) İyonlaştırmayan Radyasyon çalışma grubunu oluşturulmuştur. DC-300 GHz arasında BEM konusunu incelemekle görevlendirilmiştir. 1977 yılında Paris'te yapılan IRPA kongresinde; bu çalışma grubu INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committe), Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyon Komitesine dönüştürülmüştür.

IRPA/INIRC kurumu; WHO (World Health Organisation) Dünya sağlık Örgütü'nün Çevre Sağlığı birimi ile birlikte, UNEP (United Nations Environment Programme) Birleşmiş Milletler Çevre Programınca desteklenen bir dizi çalışma sonucu çevre sağlık kriterlerini oluşturulmuştur. Bu bilgiler sürekli gözden geçirilmekte, yenilenmektedir ve zamanla konuşulan temel ve türetilmiş limitlerin kaynağını oluşturmaktadır.

IRPA'nın 1992 yılında Kanada'da yapılan sekizinci Uluslararası kongresinde bağımsız ICNIRP (International Committe on Non-Ionising Radiation Protection) Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan koruma komitesi kurulmuş ve bu kurul IRPA/INIRC kurumunun yerini almıştır.

ICNIRP; kuruluşunu izleyen günlerde İyonlaştırmayan Radyasyon konusunda kılavuzlar oluşturma çalışmaları başlamıştır. Ulaşılabilen bütün bilimsel deneyler, bulgular incelenmiş ve tartışılmıştır. Hazırlanan istatistiksel veriler gözden geçirilmiştir. Elektromanyetik kirliliğin doğrudan ve dolaylı sağlık etkileri üzerinde araştırmalar desteklenmiş ve veri tabanları oluşturulmuştur.

ICNIRP kılavuzlarında iki sınıfta limitlerden söz edilir:

1) Temel sınırlamalar: Doğrudan sağlık etkileri yaratan ve zamanla değişen elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlardır. Temel sınırlamalar için kullanılan parametreler frekansa göre;

a) Akım yoğunluğu (J),
b) Özgül soğurma oranı *(SAR),*
c) Güç yoğunluğu *(S)*.

dur. Bunlardan sadece ortamda bulunan (insan vücudunun dışındaki) güç yoğunluğu kolayca ölçülebilir.

2) Referans seviyeler: Bu seviyeler; temel sınırlamaların sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesine yarayan, ölçülebilir büyüklüklerdir. Bu seviyeler yapılan test ve ölçülerden olduğu kadar, bilgisayar simülasyonlarından da elde edilir. Türetilmiş referans seviyelerinde kullanılan büyüklükler elektrik alan E, manyetik alan H, güç yoğunluğu S ve kaslardan akan akım I_a, adale akımıdır. Ayrıca kontak akımı I_k ve darbesel işaretler için özgül soğurma SA da kullanılmaktadır.

Elektromanyetik kirlilik durumunda bu parametrelerden birisi ölçülür ya da hesaplanır ve belirtilen referans seviye değeri ile karşılaştırılır. Referans seviyelerin sağlanması, temel sınırlamaların da sağlanması anlamına gelir. Ölçülen ya da hesaplanan değerin; referans seviyeden yüksek çıkması, doğrudan temel sınırlamaların aşılması anlamına gelmeyebilir.

ICNIRP kılavuzları; doğrudan cihazların sağlaması gereken, elektromanyetik sızıntı seviyelerini belirlemez. Yani kullanılan cihazların limitleri ile ilgilenmez. Yine ICNIRP kılavuzları kalp pilleri, işitme cihazları gibi özel cihazlara etkiler konusunu içermez. Normal koşullarda ortalama insana göre sınır ve limit değerlerden söz edilir.

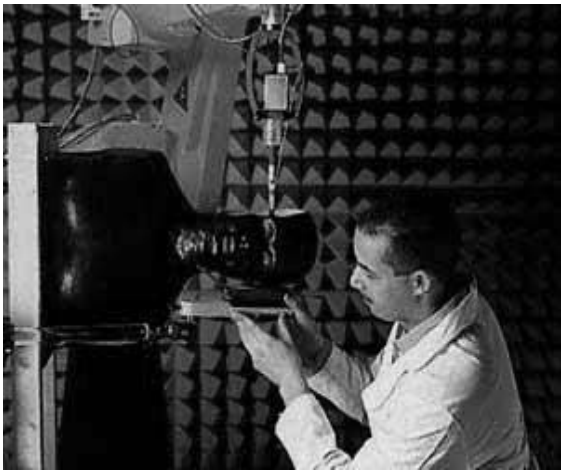
1.3.1. SAR (Özgül Soğurma Oranı)

Dokularda ısı oluşturan absorpsiyona neden olan parametre dokunun iletkenliğidir. Hacmi V, iletkenliği [S/m] σ ve yoğunluğu ρ [kg/m^3] olan bir doku içerisindeki elektrik alan şiddeti E [V/m] ise, oluşan SAR değeri;

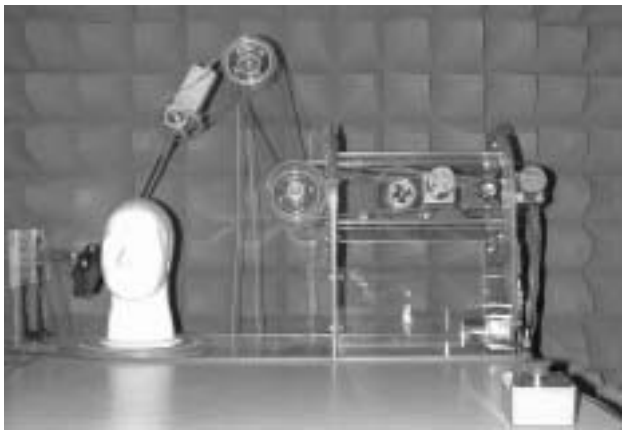
$$SAR = \iiint_v \frac{\sigma E^2}{\rho} dv \qquad [W/kg] \tag{1.6}$$

olarak bulunur.

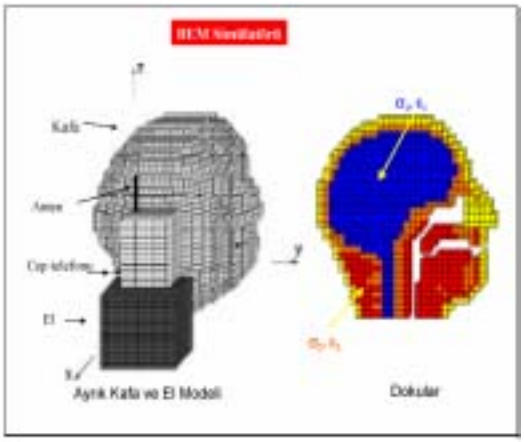
Görüldüğü gibi, SAR değerinin bulunması için, dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin ölçülmesi gerekir. Oysa canlılarda bu ancak tıbbi deneklerle yapılmaktadır. Bu nedenle SAR analizleri ya Şekil 1.3.'de gösterildiği gibi insanın elektriksel parametrelerine sahip ve tuzlu su ve değişik jellerden yapılan fantom modellerde robotlarla ölçüm yapılır ya da Şekil 1.5.'te gösterildiği gibi uygun bilgisayar simülasyonlarından yararlanılır.



Şekil 1.3. Laboratuarda *SAR* ölçümü



Şekil 1.4. *SAR* ölçüm düzeneği

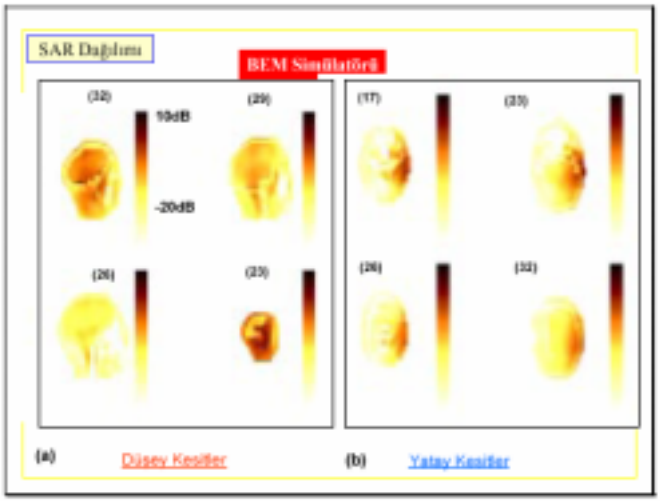


Şekil 1.5. Bilgisayar ile *SAR* simülasyonu

İster insan prototipleri üzerinde laboratuar çalışmaları olsun; isterse bilgisayar simülasyonları, öncelikle gereken bilgi dokuların elektromanyetik özellikleridir. Canlılar dahil her nesnenin elektromanyetik etkiler açısından eşdeğeri belli dokuların belli iletkenlik (σ) ve dielektrik sabitleri (ε) ile verilir. Her iki parametre de frekansla değişir. Şekil 1.4.'de bir robot kolu ile gerçekleştirilen, *SAR* ölçüm düzeneği görülmektedir.

Geniş bir bilim adamı topluluğu, dokuların değişik frekanslardaki elektriksel parametrelerinin ölçülmesi ile uğraşmaktadır. Bu ölçü topluluğundan gelen her sağlıklı ölçme sonucu, daha gerçekçi laboratuar prototiplerinin hazırlanmasına ya da bilgisayar simülasyonlarının gerçeklenmesine neden olacaktır (Sevgi, 2000)

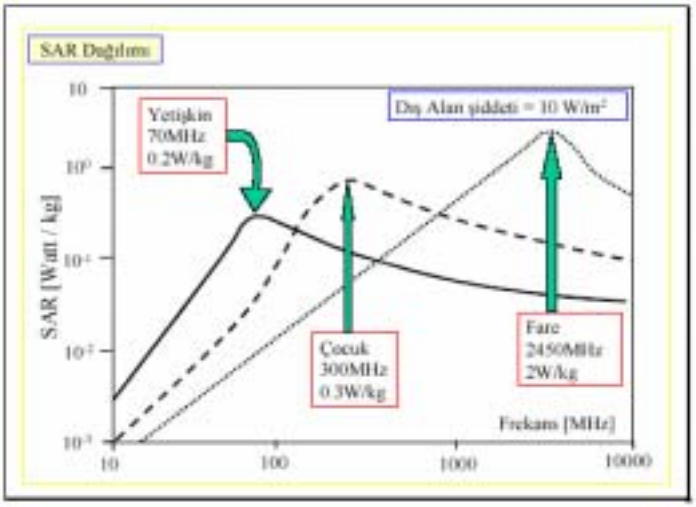
Bilgisayar simülasyonları ile insan kafasında elde edilen tipik SAR değişimlerine bir örnek Şekil 1.6'da verilmiştir. İnsan kafasının çekilen bir MR (manyetik rezonans) görüntüsünden hazırlanan bilgisayar modeli 50 yatay ve 40 düşey kesitten oluşmuştur. Şekilde değişik yatay ve düşey kesitlerde yutulan tepe (anlık) *SAR* değerleri koyudan açığa doğru renklerle gösterilmiştir. Koyu renkler daha fazla yutulan (yüksek *SAR*) güçlere, açık renkler ise daha az yutulan (düşük *SAR*) güçlere denk düşmektedir.



Şekil 1.6. Cep telefonu ve insan kafasında *SAR* dağılımı

SAR değeri insan boyutlarına, polarizasyona ve frekansa göre değişir. Genelde, en yüksek *SAR* değeri insan boyu ile elektrik alanın paralel ve insan boyunun işaret dalga boyunun 4/10'unda rezonansa gelmesi ile elde edilir. Şekilde bu durum açıkça gözlenmektedir. Yetişkin bir insan için rezonans frekansı yaklaşık 70 MHz iken, çocuklarda bu değer 300 MHz'e denk gelmektedir. Farelerde ise 2450 MHz civarında rezonans oluştuğundan, mikrodalga fırınlarından en çok fareler etkilenir. Şekilden görüldüğü gibi, 70 MHz frekansında, 10 Watt/m^2 güç yoğunluğunda ve düşey polarizasyon durumunda 0.2 Watt/kg *SAR* değerine ulaşılmaktadır. Bu değer çocuklarda 0.3 Watt/kg, fareler için ise 2 Watt/kg değerleri olarak elde edilmiştir (Sevgi, 2002).

Şekil 1.7'de 10 Watt/m^2 güç yoğunluğuna sahip elektromanyetik alan şiddeti altında ortalama insan modeli ile gerçeklenen deneylerde elde edilen frekansla *SAR* değişimi gösterilmiştir.



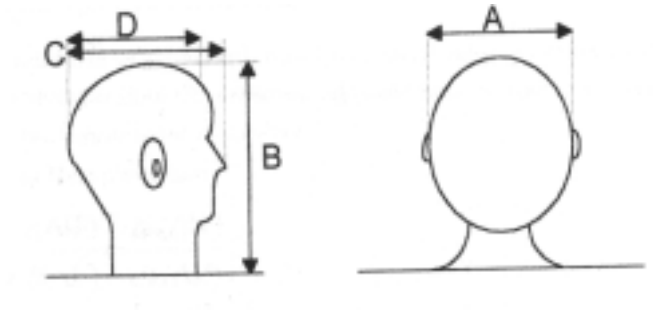
Şekil 1.7. Frekansa göre 10W/m^2 altında *SAR* değişimi

Laboratuarlarda prototipler üzerinde gerçeklenen *SAR* ölçmelerinde; farklı uzmanlar, aynı modeller için farklı değerler elde edebilmektedir. Bunun farklı prototipler, farklı ölçü propları kullanma gibi değişik nedenleri vardır. Aslında *SAR* ölçmek de, bilgisayarda *SAR* simülasyonu gerçeklemek de çok zordur.

1.3.2. Fantom Özellikleri

1. Fantom kafa modeli, en az boyun ve kafayı içermelidir.

2. Fantom kafası yeterli bir şekilde insan kafasının simülasyonu olabilmelidir.



Şekil 1.8. Fantomun geometrik yapısı

Tablo 1.3. Değişik modeller için ölçümler

	Model 1	Model 2
A	190	190
B	260	240
C	229	240
D	190	210

Ölçümler mm boyutundadır.

3. Homojen fantom için; dış kabuk inceliği, kulak pozisyonunda 3 mm ve 6 mm'den fazla olmamalıdır.

4. Homojen bir fantom için kabuk fiberglas veya benzeri kayıpsız materyalden oluşmalı ve içi insan beynini simüle edecek şekilde bir sıvı (doku ile eşdeğer) ile doldurulmalıdır.

5. Homojen fantom kafası için; dielektrik özellikleri konu ile ilgili frekans bantlarında doku canlandırması yapan sıvılar aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Tablo 1.4. Sentetik (fantom) beyin dokusunun dielektrik özellikleri

Frekans Bandı (MHz)	46.3 (+-5%)	0.73(+-%10)
800	45.8	0.77
1600	43.9	1.06
1800	43.5	1.15
2000	43.2	1.26
2500	42.5	1.54

6. Dokuyu simüle eden sıvının dielektrik özellikleri, *SAR* ölçümlerinin toleransı içinde olmalıdır.

1.3.3. Temel Limitler

Elektromanyetik etkileşim için temel limitler, farklı frekans bölgelerinde aşağıdaki farklı büyüklüklerle verilir;

a) 1 Hz - 10 MHz arasında temel limitler, sinir sistemine etkilerin belirleyici olduğu akım yoğunluğu (*J*) cinsinden verilir,
b) 100 kHz - 10 GHz arasında temel limitler, bütün vücut sıcaklığı ve ilave yerel doku sıcaklıkları artışı göz önüne alınarak, *SAR* cinsinden verilir,
c) 100 kHz ile 10 MHz arasında limitler, hem akım yoğunluğu hem de *SAR* olarak verilir,
d) 10 GHz - 300 GHz arasında ise temel limitler; vücudun yüzeye yakın kısımlarındaki dokuların, sıcaklık artışlarına yönelik olarak güç yoğunluğu cinsinden verilir.

Tablo 1.5.'de işyerleri için, Tablo 1.6.'de ise genel halk için ICNIRP tarafından belirlenen temel limitler verilmiştir.

Bugüne dek yapılan çalışmalarda ve deneylerde; elektromanyetik alanlar altında 30 dakikalık bir süre içinde yaklaşık 4 W/kg'lık *SAR* değerine maruz kalmanın, vücut sıcaklığını 1 derece arttırdığı gözlenmiştir. Vücut sıcaklığının 1 derece artması ise, denek hayvanlarda davranış bozukluklarına neden olmaktadır.

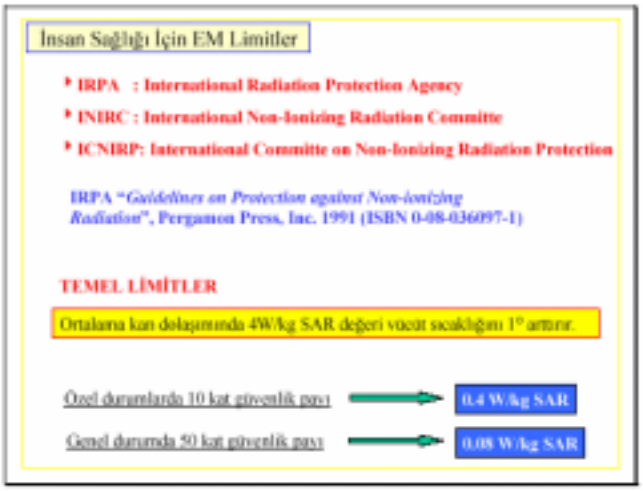
Bu nedenle temel limitlerin *SAR* olarak verildiği geniş frekans bölgesinde, 4 W/kg *SAR* değeri temel olarak alınır. Bu durumda işyerleri için 10 kat, genel halk için 50 kat güvenlik payı ile temel sınır *SAR* değerleri sırasıyla, 0.4 W/kg ve 0.08 W/kg olarak belirlenmiştir (Sevgi, 2000).

Tablo 1.5. İşyerleri için temel büyüklükler ve limitler

Frekans (f)	Akım Yoğunluğu [mA/m^2]	Vücutta SAR [W/kg]	Yerel SAR [W/kg]
1 Hz' e kadar	**40**	–	-
1 Hz – 4Hz	**40/f**	-	-
4 Hz – 1 kHz	**10**	-	-
1 kHz – 100 kHz	**f/100**	-	-
100 kHz – 10 MHz	**f/100**	**0.4**	**10**
10 MHz – 10 GHz	-	**0.4**	**10**

Tablo 1.6. Genel halk için temel büyüklükler ve limitler

Frekans (f)	Akım Yoğunluğu [mA/m^2]	Vücutta SAR [W/kg]	Yerel SAR [W/kg]
1 Hz' e kadar	**8**	–	-
1 Hz – 4Hz	**8/f**	-	-
4 Hz – 1 kHz	**2**	-	-
1 kHz – 100 kHz	**f/500**	-	-
100 kHz – 10 MHz	**f/500**	**0.08**	**2**
10 MHz – 10 GHz	-	**0.08**	**10**



Şekil 1.9. ICNIRP temel limitleri

1.3.4. Türetilmiş Limitler

Temel limitlerin zor ölçülebilir ya da elde edilebilir olması nedeniyle, türetilmiş limitler belirlenmiştir. Türetilmiş limitler belli frekanslarda elektrik, manyetik alan şiddetleri ya da güç yoğunluğudur. Türetilmiş limitler ya matematiksel modellerle gerçeklenen hesaplarla ya da laboratuarda belli frekanslarda gerçeklenen deney sonuçlarının uyarlaması ile elde edilmiştir. Ortamdaki alanlardan maksimum kuplajla güç soğurulduğu varsayımına dayandığından, en kötü hal analizi yapılmış olmaktadır. Türetilmiş limitler; vücudun tamamı üzerinden ortalama alınarak elde edilse de, yerel *SAR* değerlerinin aşılıp aşılmadığı da kontrol edilmektedir.

ICNIRP türetilmiş limitleri Tablo 1.7. ve 1.8.'da verilmiştir. Tablo 1.7.'de işyerleri için farklı frekanslardaki sınır değerler, elektrik ve manyetik alanlar cinsinden verilmiştir. Burada işyeri tanımı olarak günün belli bir süresinde (6-8 saat) sadece yetişkinlerin bulunduğu, bulunanların da elektromanyetik etkilerin riskleri konusunda bilgi sahibi olduğu ve önlem alındığının varsayıldığı yerler kastedilmektedir. Genel halk deyimi; elektromanyetik etkilere 24-saat kesintisiz maruz kalındığı okul, ev, hastane, yol, park, vb yerlerdeki her yaşta ve cinsiyetteki tehlikelerden habersiz, önlem almak zorunda olmayan insanlar için kullanılmaktadır (Sevgi, 2000).

Tablo 1.7. ICNIRP türetilmiş limitleri (işyerleri için)

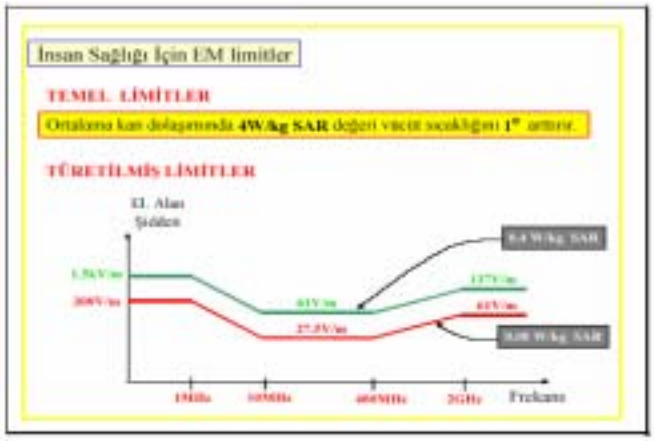
IRPA Limitleri (işyerleri)

Frekans (f)	Elektrik alan [V/m]	Manyetik alan [A/m]
1 Hz' e kadar	–	1.63×10^5
1 Hz – 8Hz	20 000	$1.63 \times 10^5/f$
8 Hz – 25 Hz	20 000	$2\times10^4/f$
25 Hz – 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	$3\sqrt{f}$	$0.008\sqrt{f}$
2 GHz – 300 GHz	137	0.36

Tablo 1.8. ICNIRP türetilmiş limitleri (genel halk için)

IRPA Limitleri (genel)

Frekans (f)	Elektrik alan [V/m]	Manyetik alan [A/m]
1 Hz' e kadar	–	3.2×10^4
1 Hz – 8Hz	10 000	$3.2 \times 10^4/f^2$
8 Hz – 25 Hz	10 000	4000/f
25 Hz – 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
1MHz – 10 MHz	$87\sqrt{f}$	0.73/f
10 MHz – 400 MHz	28	0.073
400 MHz – 2 GHz	$1.375\sqrt{f}$	$0.0037\sqrt{f}$
2 GHz – 300 GHz	61	0.16



Şekil 1.10. ICNIRP türetilmiş limitleri

Türetilmiş limitlerde; işyerleri ve genel halk için güvenlik faktörleri arasında, frekansa göre de aşağıdaki değişiklikler vardır;

a) 1 kHz'e kadar çok düşük frekanslarda 50 Hz 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,
b) 100 kHz'e kadar olan düşük frekanslarda işyerleri ve genel halk manyetik alan limitleri arasında 5 kat güvenlik payı vardır,
c) 100 kHz ile 10 MHz arasında genel halk için verilen manyetik 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,
d) 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,
e) 10 GHz ile 300 GHz arasında ise temel ve türetilmiş limitler güç yoğunluğu ile belirlendiğinden 5 faktörü aynen korunmuştur.

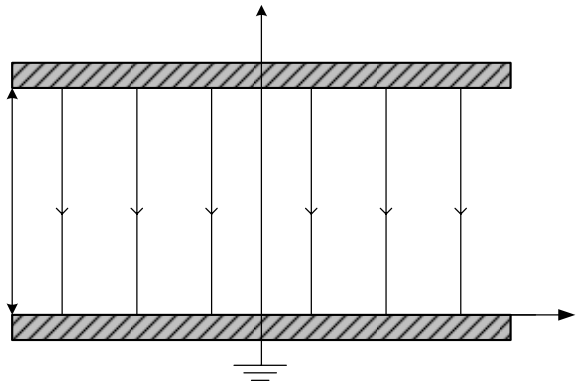
1.3.5. Maruz Kalma Süresinin Belirlenmesi

Maruz kalma durumları için, ortalama maruz kalma süresi önemli bir kriterdir. Eşitlik (1.7) ile kabul edilen maruz kalma süresinde verilen bir güç yoğunluğunda, izin verilebilecek süre hesaplanabilir.

$$\sum S_m x t_m = S_{\lim it} x t_{ort} \tag{1.7}$$

Burada; S_m maruz kalınan güç yoğunluğu seviyesi (mW/cm^2), S_{limit} izin verilen maksimum güç yoğunluğu (mW/cm^2), t_m, S_m maruz kalması için izin verilebilecek süre (dak.) ve t_{ort} (dak.) izin verilen maksimum güç yoğunluğu için ortalama süredir. Uluslararası standartlarda t_{ort} 6 dakika olarak belirlenmiştir (Jerry vd., 1997).

1.4. Maruz Kalınan Alanların Teorik Kuramı



Şekil 1.11. Düzenlenen paralel plakalı deney düzeneği

Şekil 1.11.'de, ölçüm düzeneğinin geometrisi görülmektedir. Temel elektronik teorilerden; elektrik alan çizgileri, bir levhadan diğerine doğrudur. Köşe etkileri ihmal edildiği takdirde, plakalar arasındaki bu alan oldukça düzgündür (Lorrain ve Corson, 1970).

$E = \left(\frac{V_0}{d}\right)y =$ sabit ve dikey kuvvet çizgileri $\quad U = \left(\frac{V_0}{d}\right)x =$sabittir. d

V'nin ayarlanmış, bir elektrik potansiyel değeri ;

$$E = \left(\frac{V_0}{d}\right)y \tag{1.8}$$

Bu ise $W(z)$ fonksiyonunu doğurur.

$$W(z) = U + jV = \frac{V_0}{d}(x + jy) = \frac{V_0}{d}z \tag{1.9}$$

Dielektrik veya iletken olsun; genel bir ortamdaki elektrik potansiyeli V iken, elektrik alan da E'dir ve aşağıdaki gibi verilir.

$$\left.\begin{aligned} V &= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\int_{\tau'}\frac{\rho_t+\rho_b}{r}d\tau' + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\int_{\tau'}\frac{\sigma_f+\sigma_b}{r}da' \\ E &= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\int_{\tau'}\frac{(\rho_f+\rho_b)r_1}{r_2}d\tau' + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\int_{\tau'}\frac{(\sigma_f+\sigma_b)r_1}{r_2}d\,a' \end{aligned}\right\} \tag{1.10}$$

Burada; ρ_f serbest yük yoğunluğu, ρ_b sınırlı yük yoğunluğu, r ise V ve E'nin hesaplandığı nokta ile $\rho_f+\rho_b$ toplam yük yoğunluğunun oluşturduğu, kaynak noktası arasındaki mesafedir. r_1 kaynak noktasından alan noktasına doğru birim vektör ve τ' ise tüm yüklerin çevrelendiği herhangi bir hacimdir.

$$\rho_t = \rho_f + \rho_b = \rho_f - \nabla.P = \frac{\rho_f}{\varepsilon_r} \tag{1.11}$$

ρ_t serbest yük yoğunluğu olan, ρ_f'den küçüktür. Çünkü ρ_b, ρ_f'den daha belirleyicidir.

Homojen, izotropik, doğrusal dielektrik ortamın herhangi bir noktasında (1.11) eşitliğinden; ρ_f sıfırken ρ_b de sıfırdır. Polarizasyon yükleri; sadece dielektriğin yüzeyinde olduğundan, genellikle $\rho_f = 0$ ve bu durumda $\nabla.P = 0$ olur.

$$\int_s D.da = \int_\tau \rho_f.d\tau \tag{1.12}$$

D, E'ye bağlı büyüklük olduğundan; $E = \frac{D}{\varepsilon_r \varepsilon_o}$ olacağından, *E* fiziksel büyüklüğü için bir adım ileri giderek, (1.10) ve (1.11) eşitlikleri birleştirilirse;

$$V = \frac{1}{4\pi}\int_{\tau'} \frac{\rho_f}{\varepsilon_r} d\tau' + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\int_{\tau'} \frac{\sigma_f + \sigma_b}{r} da' \tag{1.13}$$

Dielektriğin birim hacmindeki dipol momenti;

$$P = N_p = N\alpha E_{Loc} = N\alpha(E + b\frac{P}{\varepsilon_o}) \tag{1.14}$$

Burada *N* birim hacimdeki molekül sayısıdır.

$$P = \frac{N\alpha}{1-(N\alpha b/\varepsilon_o)} E$$
$$P = \varepsilon_o \chi_e E$$

Burada χ_e dielektrik için boyutsuzluk sabiti (suseptibilite) olarak bilinir. Sabit olan ε_o, belirgenini χ_e de sabit yapar. b ise dielektrik özelliklerine bağlı bir sabittir.

Dielektrikler için böylece elektrik polarizasyonu olan *P*, makroskopik elektrik alan yoğunluğu *E* ile doğru orantılıdır. Aynı zamanda E_{loc} alan içinde durum böyledir.

Gauss yasası, elektrik alanın akısı ile ilişkilidir. Burada *E* elektrik alan, yüzey tarafından çevrelenmiş Q_t toplam net yük değişimidir.

$$\int_s E.da = \int_\tau \nabla.E d\tau = \frac{Q_t}{\varepsilon_o} \tag{1.15}$$

Dielektrikler için Q_t serbest yüklerde olduğu gibi çevrelenmiş olmalıdır.

$$Q_t = \int_\tau (\rho_f + \rho_b) d\tau, \tag{1.16}$$

Burada integrasyon, hem yüzeyde hem de hacimdeki serbest ve çevrelenmiş yüklerle etkilenmektedir.

Gauss yasası içindeki Q_t'nin bu değeri yok edilirse ve hacim üzerinden integrali alınırsa;

$$\nabla . E = \frac{\rho_t}{\varepsilon_o} \tag{1.17}$$

$\rho_t = \rho_f + \rho_b$ olan her noktada bu geçerlidir. ρ_t ise burada toplam net yük değişimidir. Bu Gauss yasasının genel şeklidir.

$E = -\nabla V$ olduğunda;

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho_t}{\varepsilon_o} \tag{1.18}$$

olur. Eşitlik (1.18), V için Poisson eşitliğidir.

$$\rho_b = -\nabla . P$$

Herhangi bir dielektrik malzeme için;

$$\nabla.E = \frac{1}{\varepsilon_o}(\rho_f - \nabla.P)$$

$$\nabla.(\varepsilon_o E + P) = \rho_f$$

$$D = \varepsilon_o E + P$$

$$\nabla.D = \rho_f$$

Gauss yasasını integral formunda D için şöyle yazabiliriz.

$$\int_s D.da = \int_\tau \rho_f d\tau$$

Dielektrik yer değiştirmenin tanımından;

$$E = \frac{D}{\varepsilon_o} - \frac{P}{\varepsilon_o}$$

Bir dielektriğin içerisinde E alan yoğunluğu, bu iki alanın toplamı D/ε_o'dır. Serbest yüklerden dolayı;

$$\nabla.(\frac{D}{\varepsilon_o}) = \frac{\rho_t}{\varepsilon_o}$$

ve sınırlı yüklerle ilgili olan $-P/\varepsilon_o$,

$$\nabla.(-\frac{P}{\varepsilon_o}) = \frac{\rho_b}{\varepsilon_o} \tag{1.19}$$

olduğundan, bu durumda Gauss yasasına dönülebilir.

$$\int_s E.da = \int_\tau (\rho_f + \rho_b) d\tau \tag{1.20}$$

Molekülün ayrıntılı bilgileri; onun şekliyle ve yük dağılımı ile ilgili olmasından dolayı, ortalama elektrik alan yoğunluğu hesabında bu gözönüne alınmalıdır. Ama genel terimlerin hesabından, biz sadece molekülün biçimiyle ilgilenebiliriz. Eğer molekülün en basit biçimi olan; yuvarlak biçimi gözönüne alınırsa, ortalama alan;

$$\frac{P}{4\pi\varepsilon_o R^3} = \frac{P}{4\pi\varepsilon_o N R^3} = \frac{P}{3\varepsilon_o N \tau_m} \tag{1.21}$$

olacaktır.

Burada *P*, molekülün dipol momentidir. τ_m ise onun hacmidir (*N* hacimdeki molekül sayısıdır) ve *R* de yuvarlak şekilli molekülün ortalama çapıdır.

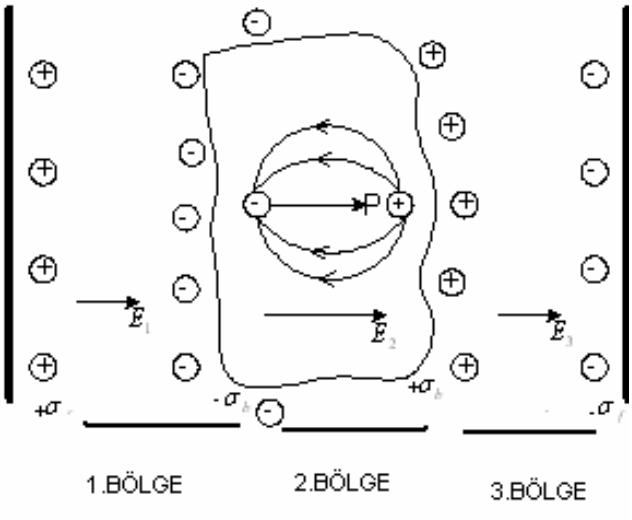
Eğer bir ileri aşamada ;

$$\tau_m \cong \frac{1}{\mathrm{N}}, \quad E_{loc} \cong E + \frac{P}{3\varepsilon_o}. \tag{1.22}$$

olmaktadır ve lokal alan eşitliği için, en iyi yaklaşıklıklar elde ederiz. Molekülün yuvarlak biçimini gözönüne almamıza rağmen, $\tau_m \cong \frac{1}{N}$ diyebiliriz. Bu tüm boşluğun moleküllerle dolduğu anlamına gelmektedir.

1.4.1. Dielektrik İçindeki Elektrik Alanları

Alan basit bir geometriye sahipse, serbest yük yoğunluğu ρ_f sıfır ise ki bu çoğu zaman öyledir. Biz daima elektriksel yer değiştirmeyi bulmak için, $\nabla.D = 0$ diyebiliyoruz. Alandaki geometrik oryantasyon Şekil 1.12.'de görülmektedir.



Şekil 1.12. Plakalar arasına yerleştirilmiş dielektrik maddenin farklı alanlar ile gösterimi

$$E_{loc} \cong E + b\frac{P}{3\varepsilon_o} \tag{1.23}$$

Burada *b* dielektriğin özelliklerine bağlı bir sabit idi ve biz tek tip bir moleküle sahip dielektrik için bunu söyleyebiliriz.

Daha genel bir ifade ile;

$$P = N_1P_1 + N_2P_2 + ...$$

Burada N_1, birim hacim başına birinci tipteki moleküllerin sayısıdır. P_1, ortalama dipol moment ve N_2 de birim hacimdeki ikinci tip moleküllerin sayısıdır. Diğer modifikasyonlar için bu teori geçerli değildir.

Dielektrik madde içerisinde (2. bölgede);

$$D = \sigma_f, \quad E = \frac{D}{\varepsilon_o} - \frac{P}{\varepsilon_o} = \frac{D}{\varepsilon} = \frac{\sigma_f}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_r} \cdot \frac{\sigma_f}{\varepsilon_o} \quad \text{1. ve 3. bölgede}$$

$$D = \sigma_f, \quad E = \frac{\sigma_f}{\varepsilon_o} \quad \text{böylece } P = p.N$$

Burada p; tek bir molekülde indüklenen, elektriksel dipol momentdir. P polarizasyon, D dielektrik yer değiştirme, E elektrik alan yoğunluğu ve $\pm\sigma$ serbest yüklerdir. Bu, dielektriğin içerisinde de dışarısında da aynıdır. D, tamamen serbest yüklere bağlıdır. E, dielektrik içerisinde azalır. Çünkü $\pm\sigma$ ters yönde bir alan yaratan polarizasyon yükleridir.

Yük dağılımının potansiyel enerjisi; dielektrik oluşumu içerisinde, integral formla verilir;

$$W = \frac{1}{2}\int_\tau \rho_f \cdot V \cdot d\tau \ , \quad W = \frac{1}{2}\int_\tau (D.E) d\tau \ .$$

Böylece enerji yoğunluğu;

$$\frac{dW}{d\tau} = \frac{1}{2}(D.E) \ .$$

1.4.2. Dielektriğe Etki Eden Kuvvetler

Bir yapımlı bir elektrik alan içinde, dipol bir torka maruz kalır;

$$T = P \times E \tag{1.24}$$

Bu tork alanla ilişkilidir ama net kuvvet sıfırdır. Net kuvvetin sıfır olmaması, sadece bir yapımlı homojen olmayan alanlarda geçerlidir. Böylece dipolün bir tarafı, diğer tarafından daha büyük bir kuvvete maruz kalacaktır. Birim hacimdeki kuvvet $(P.\nabla)E$ veya $\frac{1}{2}(\varepsilon - \varepsilon_o)\nabla E^2$ şeklinde yazılır. Yüklü iletkenler; dielektrik malzemenin içinde bulunduğu bir başka maddenin doğasına bağlı olarak, elektriki kuvvetlere maruz kalırlar. Bir sıvı dielektrik içerisindeki dielektriğe etki eden kuvvet, ε_r kadar azalacaktır. Ancak yükler ve gerilim sabit olmak şartıyla bu böyledir. Bu durumda kuvvet ε_r faktörüyle artacaktır.

$$F = (P.\nabla)E\,. \tag{1.25}$$

Bu kuvvet, bir tek dipole etki eden kuvvettir. Böylece $P = (\varepsilon - \varepsilon_{o)}$ E yazılır.

Elektrostatik bir alanda, $\nabla xE = 0$ olacağından sonuçsal kuvvet (homojen dielektrikler içerisinde) birim hacim başına;

$$\frac{1}{2}(\varepsilon - \varepsilon_O)\nabla E^2 = \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r}\nabla(\frac{1}{2}\varepsilon E^2) \tag{1.26}$$

olacaktır.

Açıktır ki; artan bir E genliğinin kuvvet yönü, alanın polaritesinden etkilenmeyecektir.

$$\nabla xE = -\frac{\partial B}{\partial t}\,. \tag{1.27}$$

Bu eşitlik dört Maxwell denkleminden biridir. $\int_s (\nabla xE).dA = -\frac{d}{dt}\int_s B.da$ yüzey integraline dönüşen çizgisel integral için, Stokes teoremi kullanılır.

Burada *S*, integrasyon yolu tarafından kapatılmış bir sınırın yüzeyidir. Uzayda bu yol sabitse; biz integrasyon ve türevi eşitliğin sağ tarafı ile değiştirebiliriz ve $\int_s (\nabla x E).dA = -\frac{d}{dt}\int_s B.da$. *B*'nin kısmi türevini kullandık çünkü *B*'nin her sabit noktadaki zamanla değişim oranına ihtiyacımız vardır. (1.27) nolu eşitliğimizden herhangi bir sınırla sınırlanmış yüzey üzerinde geçerli olduğunu bilmekteyiz. $W = -p.E_{loc}$. Böylece E_{loc}'e paralel iken , potansiyel enerji minimumdur. Gaz ve sıvı polar dielektriklerde ısı ortaya çıkması, lokal alan içerisindeki moleküllerin çarpışmasından oluşmaktadır. Ancak lokal alanın çarpışmalarla değişen net dipol moment *P*'den dolayı da değişebileceği unutulmamalıdır.

Birim hacim içerisindeki molekül sayısı *N* olmak üzere;

$$P = N_p (Coth \frac{PE_{loc}}{kT} - \frac{kT}{PE_{loc}}) \tag{1.28}$$

Bu eşitlik Langeuin eşitliği olarak bilinir. Uygulamada PE_{loc} / kT birden çok küçüktür. Oda sıcaklığında $kT \approx 4x10^{-21}$ joule olur. Oysa tipik dipol moment 10^{-30} dir. Böylece lokal alan 10^7 V/m bile olsa PE_{loc} / kT sadece $2x10^{-3}$ dır.

Böylece biz (1.28) nolu eşitliği genişleterek sadece u^3'e bağlı hale getirebiliriz. Burada $u = PE_{loc} / kT$ dir.

$$P \approx N_p \left[\frac{2+u^2}{2u\left[1+\left(u^2/6\right)\right]} - \frac{1}{u} \right]$$

$$P \approx \left[\frac{1}{2u}\left(2+u^2\right)\left(1-\frac{u^2}{6}\right) - \frac{1}{u} \right]$$

$$P \approx \frac{N_p u}{3} = \frac{N_{p^2}}{3kT} E_{loc} \tag{1.29}$$

Eşitliğin pratik bir uygulaması olarak; elektrik duyarlılığının sıcaklığa bağımlı olduğu tek kutuplu dielektriklerde, kutup özelliğine bağlı olarak Eşitlik (1.21) ve (1.29) birleştirilebilir.

$$P = N\left(\alpha + \frac{p^2}{3kT}\right)E_{loc}$$

$$E_{loc} = E + \frac{P}{3\varepsilon_o} \quad \text{ve} \quad \varepsilon_r = 1 + \chi_e = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$$

$$P = \varepsilon_o \chi E$$

$$E_{loc} = \frac{\varepsilon_r + 2}{3} E \tag{1.30}$$

Böylece $P = \varepsilon_o(\varepsilon_r - 1)E = N\left(\alpha + \frac{p^2}{3kT}\right)\left(\frac{\varepsilon_r + 2}{3}\right)E$ (1.31)

$$\frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2} = \frac{N}{3\varepsilon_o}\left(\alpha + \frac{p^2}{3kT}\right)$$

Molekül ağırlığını M ile çarparak ve kütle yoğunluğu ρ ile bölerek, bu dielektrikler için moleküler polarizasyonla ilgili yeni bir eşitlik elde ederiz.

$$\alpha_m = \frac{M}{\rho}.\frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2} = \frac{N_A}{3\varepsilon_o}\left(\alpha + \frac{p^2}{3kT}\right) \tag{1.32}$$

Bu eşitlik Debye eşitliği olarak bilinir. Prensip olarak Debye eşitliği, moleküler polarizasyon α ve molekülün sabit dipol momenti olan P'yi belirlemede kullanılır. Debye denklemi; elektromanyetik alanlara tabi yutulan dokulardaki, ısı üretim mekanizmasını açıklar.

Bu bölüme sonuç olarak söylenebilecek olan; zamanla değişen ya da frekanslı alanlar altında biyolojik doku hareket etmese bile, moleküler kuvvetlere maruz kalmaktadır. Statik alanlarda ise, alanların frekansları yoktur ve alan değeri zamanla değişmemektedir. Ancak; doku bu alan içinde hareketli ise, 1.24 eşitliği ile verilen tork değeri, eşitlik 1.25'deki kuvveti doğuracaktır. Eşitlik 1.32'de verilen moleküler polarizasyon da değişeceğinden; statik alan, dielektrik özelliğinden dolayı dokuya etkiyecektir.

2. KAYNAK BİLGİSİ

Wertheimer ve Leeper'ın çalışmaları; Kolorada doğumlu ve Denver bölgesinde bulunan, 1950 ve 1973 arasında Kolorado'da 19 yaşından önce kanserden ölen kişileri içermektedir. Çalışma grubu doğum tarihi ve yeri işaretlenen, 344 kanser ölümü ve 355 kontrol deneğinden oluşmaktadır. 472 kontrol birimi ile kanser hastalarının 491 ikameti karşılaştırılmıştır. Yüksek ve alçak akım taşıyan çeşitli YGH güzergahında; çalışma deneklerinin evlerinden 40 metrelik mesafe içinde, 60 Hz frekanslı manyetik alana karşı etkileri değerlendirmiştir. Güç hatları civarında, manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Yüksek akımlı hatlara; kanserli hasta evlerinin, kontrol deneklerinin evlerinden önemli derecede daha yakın olduğu saptanmıştır. En fazla göze çarpan fark doğumdan ölüme yalnız bir adreste bulunan 128 kontrol deneği ve 109 vakanın evleri arasında görülmüştür. Lösemi, lenfoma ve sinir sistemi tümörlerini 3'te 2 oranında fazla olduğu saptanmıştır (Wertheimer ve Leeper, 1973).

Elektromanyetik enerji kaynaklarına bağlı olarak, içinde yaşamakta olduğumuz doğal EM çevre bozulmuştur. Herhangi bir kaynaktan EM alanın yayılması, çok değişik ve karmaşık yollarla olmaktadır. Son çalışmalarda; radyo frekans (RF) enerjisine maruz kalma sonucu, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler gözlenmiştir. Bu enerjinin kontrollü kullanılması gerekliliği vurgulanmaktadır. İnsan sağlığı üzerine bu olumsuz etkiler alan yoğunluk seviyesi ve maruz kalma süresinin yanında; kaynaktan uzaklık, frekans, modülasyon tipi ve polarizasyon gibi faktörlere de bağlıdır (Bowman, 1988).

Elektrik alanın öğrenilmiş davranışlar üzerindeki etkileri, laboratuar hayvanları üzerinde incelenmiştir. Ayrıca bu konuda yapılan kapsamlı literatür araştırmaları da gösterdi ki, küçük istisnalar dışında elektrik alanın öğrenilmiş davranışlar üzerindeki etkisi çok azdır. Elektrik alanın etkileri arasında en önemlisi, beyin dokusunda bulunan kalsiyum iyonları üzerindeki olumsuz etkileridir. Yapılan yeni çalışmalar; elektrik alanının kalsiyumlu dokular üzerindeki etkisinin (Ca^{++} efflux'ı), özellikle alanın frekansına ve şiddetine bağlı olduğunu göstermiştir (Delpizzo vd., 1991).

Maruz kalma limitleri ile ilgili çalışmalar; insan, hayvan ve hücre sistemlerini içeren biyolojik organizmalar üzerinde, yaklaşık 30 yıldan beri devam etmektedir. EM kirliliğin artması ile birlikte, canlı organizmaların etkilenme riski artmaktadır. RF alanların biyolojik etkileri ile ilgili bulgular net değildir. Bu konudaki araştırmalar; disiplinler arası, uzun süreli çalışmaları gerektirmektedir (Stuchly, 1993).

Araştırmalar manyetik alanın, elektrik alandan daha etkili olduğunu göstermektedir. Şöyle ki ciddi bir manyetik etki altında kalan mekanizmalarda; beyindeki dalgaları ölçen bir cihazın (EEG) bazı bileşenlerinde, kısa süreli değişimler gözlenmiştir. Fakat insanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, önemli bir etki görülmemiştir. Fareler üzerinde yapılan bir başka araştırmada ise; fareler önce ödüllendirilecek şekilde eğitilip, daha sonra elektrik ve manyetik alanların etkisi altında bırakılmıştır. Bu alanların etkisi altında kalan farelerin; etki altında kalmayanlara göre, cevap verme oranlarında bir azalma görülmüştür (Bracken vd., 1993).

ELF alanları düşük enerjileri olmakla birlikte; bazı durumlarda hücre membranlarının dışarıdan uygulanan düşük frekanslı alanlara, oldukça duyarlı olduğu bilinmektedir. Çok düşük sinyal değişmeleri, hücre fonksiyonunda önemli biokimyasal cevaplara yol açabilmektedir (Sussman, 1995).

Darbeli elektromanyetik alanın (DEMA) tedavi amacıyla kullanımı, 1974 yılında başlamış olup, ilk olarak kırıkların iyileştirilmesinde etkili olduğu gözlenmiştir (Çömlekçi, 1996).

10, 20, 40, 50, 60 ve 80 Hz frekanslı 4 mT dozun kullanıldığı bir çalışmada ise; 20 Hz en etkili bulunmuş, yara bölgesinin gerginliğinde olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir. DEMA ve devamlı EMA‘nın etkileri karşılaştırıldığında ise; yara iyileşmesi üzerinde, DEMA‘nın üstünlüğü ispatlanmıştır (Patino vd.,1996).

EM kirlenme günümüzde; elektromanyetik alanın teknolojide yaygın kullanımından, arzu edilmemesine rağmen ortaya çıkan kaçınılmaz bir olaydır. Enerji taşıma hatları, iletişim sistemleri ve çeşitli elektriksel işlemlerin içerisinde yapıldığı sistemler EMA'nın kaynağı olarak tanımlanabilir. Burada ileri sürülen EM kirlenme hava, su ve gürültü kirliliklerinden üç bakımdan farklılık gösterir. Birincisi EM kirlenmenin duyularımızla hissedilmez oluşu diğeri de bazı durumlarda terapatik etkiler oluşturmasıdır. Üçüncüsü ise etkilenmenin anlaşılamamış olmasıdır. EMA'a maruziyetin araştırılması başta mesleki çalışanları olmak üzere, genel halk sağlığı açısından büyük önem taşır (Şeker, 1997).

Elli yıl öncesine kadar elektrik ve manyetik alanların; atmosferde oluşan doğal seviyesi, hayli düşük değerde idi. Endüstrileşme ile birlikte; elektromanyetik (EM) enerjisinin kullanımının yaygınlaşması, EM alanlarının her frekansında insan, hayvan ve bitkileri etkileyen çevresel bir artış meydana gelmiştir. EM. alanlarının kullanımının gelecekte daha da artış göstereceği dikkate alınırsa, konunun önemi daha da artmaktadır. EM enerji üreten cihazlara, mikrodalga el telsiz ve telefonları, alarm cihazları, otomatik kapılar, TV ve radyo vericileri, enerji iletim hatları, kablosuz iletişim araç-gereçleri örnek olarak verilebilir. Ayrıca endüstriyel işlemlerde; ısıtma amacıyla kullanılan, daha düşük frekanslı RF ısıtıcılar da sayılabilir. Bu uygulamalarla ilgili mesleklerde çalışanlar ve bakım personeli, ışıma yapan cihaza sürekli olarak yakın olmak durumunda kaldıkları için birinci derecede risk altındadırlar (Çerezci, 1997).

RF radyasyonun büyüme ve gelişme üzerine etkileri konusunda yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır. Örneğin tıbbi tedavide kullanılan diyatermi cihazları, bazen hamilelere de uygulanmaktadır. Diyatermi tedavisi alan hamileler üzerinde yapılan bir çalışmada, erken ve düşük kilolu doğumlar olduğu belirtilmiştir (Özen, 2000).

Elektromanyetik alan (EM) ışımasının, insanlara ve diğer canlılara zararlı etkisi olduğu anlaşılmıştır. EM alan ışıması etkisinde kalan canlılar, EM enerjiyi soğurmaktadır. Soğurulan EM enerjisi vücutta ısı artışına yol açmakta ve bazı organlardaki elektrik akımlarının değişmesine neden olmaktadır. EM ışınım, ayrıca doku hücrelerinin kimyasal yapısını da bozmaktadır. EM ışınımın kimyasal etkileri; hücrelerdeki büyük moleküllerin bozulmasına, hücre zarlarının birbirine yapışmasına, hücre iyon dengesinin bozulmasına, sinir sisteminin etkilenmesine, beyinin elektriksel işareti (EEG)'nin değişmesine, uykusuzluğa, baş ağrısına, baş dönmesine neden olabilmektedir (Dinç, 2003).

Elektrikli ev aletlerinin oluşturduğu elektrik (*E*) alanların şiddeti 1-250 V/m arasında değişim göstermektedir. Elektrikli aletlerin yarattığı *E* alanların dışında; normal havada atmosferde 1120-150 V/m şiddetinde doğal *E* alan mevcutken, yıldırımlı havada bu değer 10 kV/m'ye ulaşmaktadır. Ancak canlılar için en önemli etki, çevreleri için *E* alan kaynağı oluşturmaları nedeni ile yüksek gerilim hatlarından ve trafolardan kaynaklanmaktadır. Yüksek gerilim hattı en fazla 750 kV'luk gerilime sahip olduğunda yarattığı alan şiddeti, hattın yerden yüksekliğine göre 1-12 kV/m şiddetlerinde olabilmektedir. Yüksek gerilim hatlarının yapımına ilişkin şartnameler; hatların yerleşim merkezlerinin dışında ya da açığında kurulmasını gerektiriyorsa da, bugün yerleşim birimlerinin içinden geçen yüksek gerilim hatları insan sağlığı için gerçek birer tehlike oluşturmaktadır. Halk sağlığı açısından yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu *E* alanların limit değerleri ve bu alanlarda kalış süreleri her gelişmiş ülke tarafından güvenlik standartları ile sınırlanmıştır (Atalay, 2003).

0.1-10 Hz frekanslı 1-6 mT DEMA kullanarak yapılan bir çalışmada ise; açık bırakılmış ve suture edilmiş yaralar kontrolleri ile karşılaştırılarak, DEMA'nın daha hızlı kontraksiyon sağladığı görülmüştür (Trostel vd., 2003).

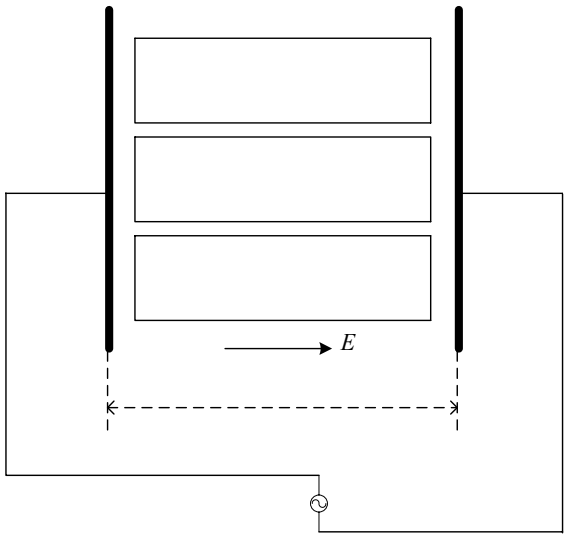
Statik alanlarla rutin maruz kalmalarının incelenmesinde, genellikle manyetik alanın incelenmesi kabul edilir. Oysa zararsız olduğu sanılan statik bir alanda; biyolojik doku hareketli ise, dokuda indükleme akımlarının oluşması muhtemeldir. O yüzden bu çalışmada; kontrol grubu ile birlikte, bir statik alan grubu da planlanmıştır (Çömlekçi ve Ulukut, 2004).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Statik (DC) Alan ve 50 Hz Rat Çalışması

Bu çalışmada bazı frekanslarda, maruziyet sürelerinin ve elektrik alan seviyelerinin hangi değerlerinde etkilenmenin başladığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada rat deneyleri, SDÜ Tıp Fakültesinde görevli bilim adamları katılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için statik alanlar ve değişken elektrik alanlardan yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan statik alanlar için; Barry ve Geim'in kullandıkları metodoloji, AC 50 Hz için Anderson ve arkadaşlarının kullandıkları metodoloji takip edilmiştir (Barry ve Geim, 1997) (Anderson vd., 2001).

Bölüm 1.2.1'de statik alanların sağlık üzerine etkilerini açıklayan çok az çalışma ve kanıt bulunduğu belirtilmişti. Bu nedenle çalışmanın bir kısmında, statik alan maruziyeti içinde bir deney planlanmıştır. DC etkileşim deneyinin gerekçesi budur.



Şekil 3.1. 50 Hz ve statik alanlar için deney düzeneği

Rat kafeslerine uygulanan elektrik alan, paralel plakalı düzenekler kullanılarak yaratılmıştır. 0 Hz-50 Hz için maruziyet deney düzenekleri önce tasarlanmış, sonra imal edilmiştir. Burada oluşan elektrik alanlar; homojen, statik elektrik alanlar şeklinde üretilmiştir.

Bölüm 1.4'de verilen teorik kuram çerçevesinde Şekil 1.11'deki düzenek kullanılmıştır. Ancak paralel plakalar dikey konumda değil, yatay konumdadır. Bu çalışmada; 150-200 gr ağırlığındaki 2 aylık 40 adet dişi Albino ratlere, 1 ay boyunca 24 saat süre ile 50 Hz frekanslı elektrik alan ve statik elektrik alan uygulanmıştır. Bunlardan üçü kontrol ve biri deneme olmak üzere, toplam dört adet grup oluşturulmuştur. Her grupta 10 adet rat bulunmaktadır. Bu ratler aynı özellikleri taşıyan dört ayrı kafeste tutulmuştur. Ratler çalışmaya başlamadan önce; ortama alışmaları için, 15 gün süreyle beslenmiştir. Çalışmanın yapıldığı ortamın sıcaklığı, 22-23°C derece arasındadır.

Kontrol grubuna ek olarak, deneme grupları da oluşturulmuştur. Genişliği 0.5 m olan, plastik kafesler seçilmiştir.

Plakalar arasında oluşan E alanı için;

$$E = \left(\frac{V}{d}\right) y \tag{3.1}$$

Burada V plakalar arasında oluşan elektrik gerilimi, d aradaki uzaklık, E elektrik alan yoğunluğu ve y de yatay vektördür (Plakadan plakaya eksen, maksimum indüklenen eksen).

Eşitlik (3.1)'den görüldüğü üzere, plakalar arasındaki elektrik alan yoğunluğu, 5000 Volt/0.5 metre ya da E_{rms}=10000 V/m=10 kV/m'dır.

Böylece;

$$E_{loc} = \frac{E}{\varepsilon_r} \tag{3.2}$$

Burada E dış ve E_{loc} içerideki alandır. Dış alan denilmekle; elektriksel ve fiziksel oryantasyona bağlı olan, indükleme alanından bahsedilmektedir. Güç frekanslarında; ratler için kabul edilen dielektrik sabiti ε_r, 10^6'dır (Poly, 1995).

Eşitlik (3.2)'den,

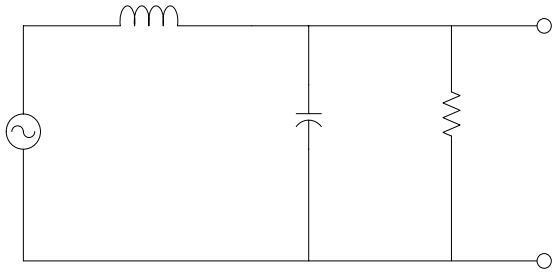
$$E_{loc} = 10 \times 10^{-3} (V/m) = 10 \text{ mV/m}$$

ε_r; frekansa bağımlı olduğundan, sinüs dalga tarafından belirlenir. ε_r bu alandaki kuvvetleri belirleyen önemli bir parametredir. Güç frekanslarında (50 Hz) dielektrik sabiti, 10^6 civarındadır. Ratler için lineer dielektrik sabiti, yüz milyonlar seviyesindedir (Poly, 1995).

Canlı hücrenin sonlu membran potansiyelinin; yüksek polarize olabilirliği özelliğinden dolayı, zar üzerine anlamlı kuvvetler etki eder. İlaveten dielektrik tepkiler nonlineer olmaktadır ve hücrenin metobolik durumlarına etkilemektedir.

3.2. 27 MHz Ölçüm Düzeneği

Bu çalışmada; 27 MHz hastane kaynaklarının ve endüstriyel kullanımının ölçümü için sensör olarak, çerçeve anten önce tasarlanıp sonra imal edilmiştir. Çerçeve antenin frekans cevabını; istenen frekans aralığında sabit duruma getirmek için, düşük değerli bir direnç yük olarak kullanılmıştır. Çerçeve antenin eşdeğer devresi;



Şekil 3.2. Çerçeve antenin eşdeğer devresi

Bu devre *E(t)* indüklenen gerilim, *L* çerçeve endüktansı, *C* çerçeve kapasitesi, *R* yük direnci, $V_o(t)$ yük direnci üzerindeki gerilim belirtir. Devrenin s-domeninde analizi aşağıdaki şekilde gerçeklenmiştir.

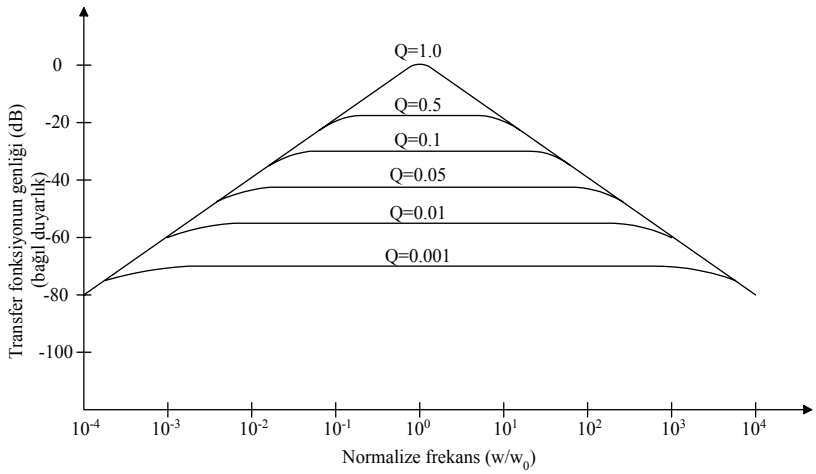
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-j\frac{1}{\partial}}{\frac{1}{Q} + j\left(\partial - \frac{1}{\partial}\right)} \tag{3.3}$$

$$Q = \frac{R}{V_O}, \quad X_O = w_o L = \frac{1}{w_o C} \tag{3.4}$$

$$\partial = \frac{w}{w_o} \text{ bundan dolayı } w_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{3.5}$$

w_o açısal hız bileşenidir.

Hesaplanan Q değerinin 1 den küçük olması gerekmektedir. Bu Şekil 3.3.'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Q değerinin değişim grafiği

açısal bileşen olan w_o ‹ın ifadesi;

$$w_o = \sqrt{w_h w_l} \tag{3.6}$$

Standart bir çerçeve anten için genel ifade (3.7) nolu eşitlikte verildiği gibidir.

$$\mathbf{L_{kare}} = \mathbf{N}^2\mathbf{x}0.162\mathbf{xlx}(2.3*\log(\frac{\mathbf{4l}}{\mathbf{d}}) - 2.85) \qquad (\mu\mathbf{H}) \tag{3.7}$$

Burada L tasarımı yapılan probun endüktansı, l karenin bir kenarının uzunluğu, d prob sarımında kullanılan tel kalınlığı ve N sarım sayısıdır. Bu probun tasarımında N=1; l=3 cm; d=0.5 cm değerleri kullanılmıştır. Bu değerler sonucunda L=0.0217 μH olarak hesaplanır. Yük direnci; antenin frekans cevabını, istenilen frekans aralığında sabit duruma getirmek için kullanılmıştır.

Buradan anten devresel analizine dayanarak gerekli olan empedans değeri;

$$R = w_l L$$

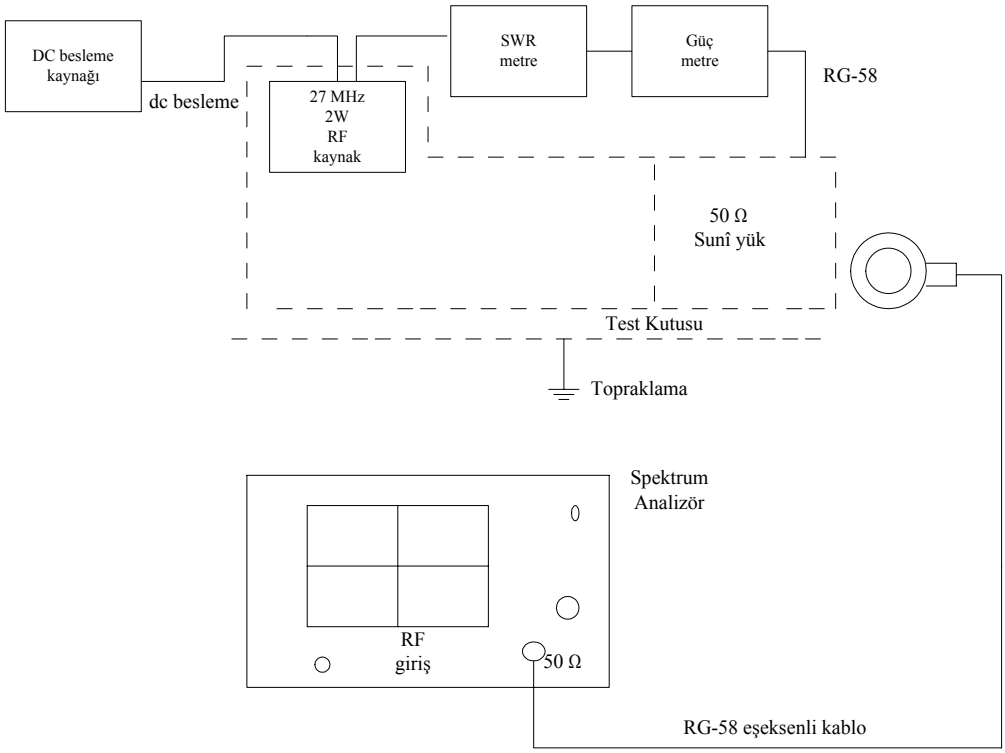
$$R = 2\pi.27x10^6.0.0217x10^{-6} \tag{3.8}$$

$$R \cong 3.679\,\Omega$$

olarak bulunur. Yükleme direnci olarak R= 3.5 KΩ standart direnç seçilmiştir. Bu durumda çok dar bir banda $Q \cong 1.0$ olmakta ve bu prop için en yüksek prop çıkışı elde edilmektedir. Bu durum Şekil 3.3'te görülmektedir.

Bu çalışmada kaynak olarak; MIDLAND ticari markalı 4 W çıkış gücüne sahip 40 kanallı, continuous wave halk bandı haberleşme telsizi olarak kullanılan cihaz alınmıştır. Cihaz, ayarlanabilen bir güç kaynağı ile beslenmiştir. Modülesiz halde çıkış frekansı osiloskop ile ölçülerek, 27.12 MHz olarak belirlenmiştir. Cihaz yakın alan güç yoğunluğu değişimini belirlemek amacıyla oluşturulan bu düzenekte, anten besleme noktası ile tepe noktası doğrultusundaki düzlem içerisinde ölçümler alınmıştır.

Ölçüm için hazırlanan deney düzeneği Şekil 3.4.'de görülmektedir. Tasarlanan bir çerçeve prop, spektrum analizöre bağlanmış ve ölçümler belirtilen düzlemde yapılmıştır.



Şekil 3.4. Test için kurulan düzenek

Şekil 3.5. 27 MHz kaynaktan yayılan elektromanyetik alanın görsel olarak test edilmesi

Ölçümler için frekans aralığı 1-1000 MHz, sinyal ölçüm aralığı 15-130 dBμV ve giriş empedansı 75 Ω olan Promax (AE-566) ticari markalı spektrum analizör kullanılmıştır. Kaynaktan belirli mesafelerdeki güç yoğunluğunun değişimini belirlemek için; anten boyu düzleminde, antenin tepe, orta ve besleme noktaları doğrultularında ölçümler alınmıştır. Şekil 3.5'da test amaçlı kullanılan 27 MHz kaynağın; yakın alan etkisini göstermek için, bir standart fluoresan tüpü ışıması görülmektedir.

3.3. Endüstriyel Ölçümler

Radyo frekanslı elektromanyetik dalgalar, iyonlaştırıcı olmayan radyasyondur. Bu radyasyon türünün dokuda oluşturabileceği zarar; onun enerjisine, doku ile yaptığı etkileşim türüne, dokuda soğurulan enerji miktarına ve maruz kalma süresine bağlıdır. Bu şekilde; dokunun birim kütlesinde soğurulan enerji, doz olarak tanımlanmaktadır. Özellikle canlı dokularda soğurulan enerji miktarından çok, enerjinin soğurulma hızı önemlidir. Bu durumu içeren bağıl soğurulma hızı birimi, *SAR* olarak tanımlanmıştır (Sanalan, 1999). Ancak bu tezin konusu olan ELF bölgesi için *SAR* birimi, ölçüm birimi değildir (ICNIRP Guidelines, 1998).

Özellikle radyo frekansları ile ısıtma veya kaynatma yapılan sanayi dallarında; bu sistemleri çalıştıran personelin ya da tıbbi diyatermi ünitesinin çalışması sırasında, bu cihazın yakınlarında bulunan bireylerin RF alanlarına aşırı miktarda maruz kalmaları olasılığı bulunmaktadır.

Biyolojik malzemede; RF enerji soğurulmasının en iyi bilinen etkisi, ısınmaya yol açmasıdır. En fazla ısı artışı, vücudun dış yüzeyi olan deri üzerinde ortaya çıkar ve yerel yanmalar oluşabilmektedir. Vücudun derinliklerine gidildikçe, sıcaklık düşmektedir. Ancak uzun dalga radyasyonuna maruz kalmalar sonucunda, kaslarda yüksek sıcaklık artışına neden olduğu anlaşılmıştır. İç organlar ve kan üzerinde de sıcaklık artışı görülmektedir. 40-100 mW/cm^2 yoğunluklu alanlar uygulandığında, kan damarları ciddi zarar görmekte ve bu nedenle iç organlarda kanamalar oluşabilmektedir.

RF ve alanları insan vücudunda en önemli etkiyi; vücudun dış yüzeylerinde olmaları nedeniyle, göz ve üreme organları üzerinde yapmaktadırlar. Ancak vücut yüzeyine çok yakın olmakla beraber, iletken özelliklere sahip olan sinirler ve kardivasküler sistemler üzerine de etkide bulunmaktadır.

Bu çalışmanın ölçüm bölümü; Isparta İli Sanayi Sitesinde faaliyet gösteren bir gözlük camı işleme atölyesinde kullanılan, 27 MHz/ 1 kW dielektrik ısıtıcı cihaz kullanılarak yapılmıştır.

3.4. Diyatermi (Dokuların İçten Isıtılması)

Elektromanyetik enerjinin faydalı etkilerinden, medikal alanda tedavi amaçlı olarak yararlanılmaktadır. EM enerjini sağlık üzerine etkileri, son zamanlarda sıkça tartışılan konular arasındadır. Fizyoterapide; tedavi amaçlı kullanılan elektromanyetik enerjinin, bilinen değişik etkileri de bulunmaktadır. Bu tedavi yöntemlerinden diyatermi tedavisi; iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik enerjinin vücut dokularına uygulanılarak, ağrıların iyileştirilmesinde kullanılır. ICNIRP standartlarına göre, diyatermi cihazı ve kablolar için 0.5 m yaklaşım mesafesine uyulması önerilmektedir. Normal çalışma altında 27.12 MHz'li diyatermi cihazında, örneğin cihaz konsolun arkasında, operatörün dizinde izin verilen değerlerin üstünde alan şiddetlerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Buna rağmen fizyoterapistler 20 cm'e kadar yakın mesafe içerisinde bulunabilmektedir.

Radyo frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalma ile ilgili standartlaşma çalışmaları konusunda, dünyada tam olarak bir birlik bulunmaktadır. Kabul edilen standartlar, ülkeden ülkeye büyük farklılıklar göstermektedir. Standartlar 6 dakikalık maruz kalma süresi için belirlenmekte ve düzlemsel dalga eşdeğer güç yoğunluğu (S, mW/cm^2) olarak tanımlanmaktadır. Diyatermi cihazı için; elektromanyetik enerjiye maruz kalma ile ilgili olarak elektriksel güvenliğin sağlanması konusunda, herhangi bir şart bulunmamaktadır. Ancak radyo frekanslı elektromanyetik radyasyon kaynağı olarak, 27 MHz'de çalışan diyatermi cihazı için mesleki maruz kalma standartlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

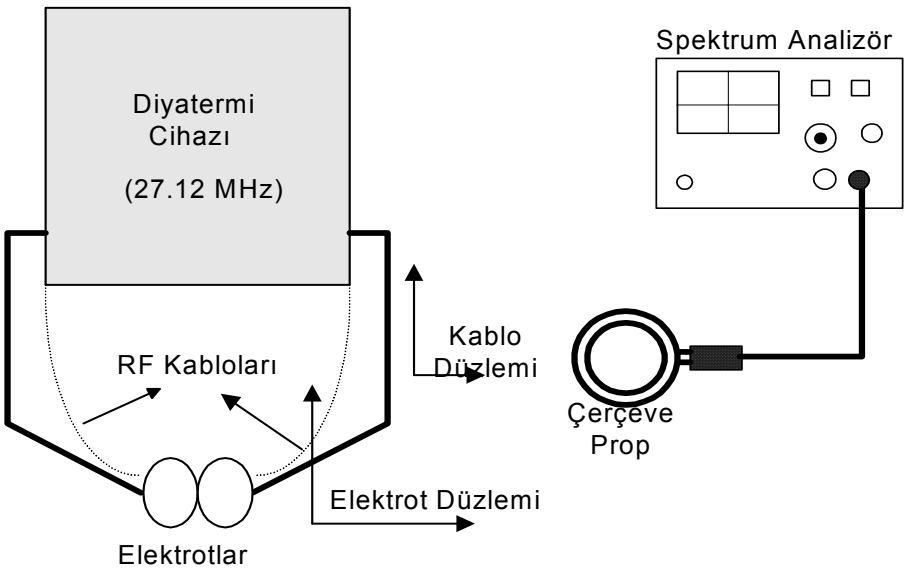
Tüm vücut veya vücudun bir kısmı için, bir dakikadan fazla ve bir saatten az kalma süresi; t=60/S'dir. Burada S, mW/cm^2 olarak düzlemsel dalga güç yoğunluğudur. Bir dakikadan fazla bir saatten az periyotta eller, kollar, ayaklar ve bacaklar için izin verilen maksimum süre; t=600/S'i geçmemelidir. Bir dakikalık periyotta tüm vücut veya vücudun bir kısmı için 300 V/m elektrik alan, 0.8 A/m manyetik alan ve 25 mW/cm^2 güç yoğunluğu sınır değer olarak önerilmektedir. Yine ortalama bir saatlik periyot için 60 V/m elektrik alan, 0.16 A/m manyetik alan ve 1 mW/cm^2 güç yoğunluğu sınır değer olarak kabul edilmektedir (Canada Safety Code, 1998).

Yayılmış alanların şiddetlerini kestirmek için, basit bir bağıntı bulunmamaktadır. Yalnızca bütün diğer parametreler değişmeksizin, en büyük güçte çalıştığında formüle edilebilir bu özel bir durumdur.

Güç yoğunluğunun (S, mW/cm^2) bilinmesi durumunda elektrik alan şiddeti;

$$E = \sqrt{3770.S} \tag{3.9}$$

bağıntısı ile hesaplanabilir (Özen, 2000).



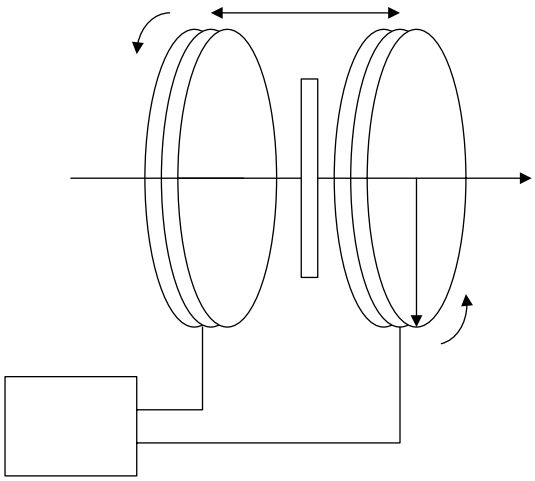
Şekil 3.6. Diyatermi cihazı ekipmanları ve ölçüm yönleri

Diyatermi cihazının özellikleri;

Çalışma frekansı : 27.12 MHz ±0.6 Hz
Güç : 400W (50 Ω).
Tekrarlama frekansı : 20-180 Hz.

Bu çalışmada EM alan sinyal seviye ölçümlerinde, Promax Ticari markalı AE-566 model 1 GHz frekans bandında ve 15-130 dBμV sinyal girişine sahip spektrum analizör kullanılmıştır. Ayrıca, tasarlanan 27 MHz frekansına duyarlı yakın alan probu bu ölçümde kullanılmıştır.

3.5. Bitki Deneyi



Şekil 3.7. Helmholtz bobin takımı

Bu çalışmada; genetik olarak ayrıştırılmış, arpa tohumları kullanılmıştır. Bunlardan on ikisi deneme ve on ikisi kontrol olmak üzere, yirmi dört grup oluşturulmuştur. Tohumlar önce biyologlar tarafından seçilmiş, sayıları ve ağırlıkları onlar tarafından belirlenmiştir. Her grupta, 100 adet arpa tohumu kullanılmıştır. Genetik olarak ayrıştırılmış arpa tohumları; 1 ,3 ,5, 7 mT da 8, 16, 24 saatlik manyetik alanlara, Şekil 3.7.'de görülen Helmholtz bobin takımında maruz bırakılmıştır.

Helmholtz bobinlerinin tam ortasında ve bobinlerden eşit akım geçerken oluşan homojen manyetik alan değeri şu şekilde bulunur;

$$B = \frac{\mu_o i}{r\left(\frac{5}{4}\right)^{3/2}} \text{ (Tesla)} \tag{3.10}$$

Burada; r bobinlerin yarıçapı, i bobin etkin akımıdır.

Kontrol ve deneme grupları; aynı seviyede ışık alan bir ortamda, manyetik alana maruz bırakılmıştır. Çünkü çevre şartları; özellikle ortam sıcaklığı ve nemlilik, RF radyasyon maruziyetini büyük ölçüde etkilemektedir. Çalışma ortam sıcaklığı, 24°C derece olarak tespit edilmiştir. Kontrol grubu ve deneme grupları için; kök büyümesi parametrelerinin, ne derece etkilendiği araştırılmıştır.

3.6. Yara İyileşmesi

3.6.1 Darbeli Elektromanyetik Alan Üreteci

Darbeli EM alanların kullanımı, sadece yararlı etkilerinden dolayıdır. Literatürde Basset ve arkadaşlarının; kemik kırıklarını hızlı iyileştirme amacı ile, 1980'de başlattıkları bir dizi deneysel çalışma ile ortaya çıkmışlardır. Darbeli elektromanyetik alan üreteci, esas itibariyle frekansı ve genliği ayarlanabilen çok düşük frekanslı darbeli ELF sinyaller (PEMF) üretebilen bir cihazdır. Cihazın en önemli özelliği; kare dalga sinyallerin, 1 ve 0 sürelerini ayrı ayrı ayarlayabilme özelliğidir.

Basset'in çalışmalarından sonra bu tür işaretlerin sinir, kas ve bazı hücreler üzerinde de stimülasyon ile yararlı etkiler sağladıkları görülmüştür. Bilim adamlarının son zamanlarda uğraştıkları; deri ülserinin iyileştirilmesi ve sinirsel birtakım bozukluklara bağlı rahatsızlıkların tedavisinde pozitif sonuç veren sinyaller, bu tür sinyallerdir (Basset, 1980).

3.6.2. Darbeli Elektromanyetik Dalganın Ratlerde Yara İyileşmesi Üzerine Etkisi

EMA'lar dan özellikle yararlı olarak bilinen darbeli EMA'lar ;

a) İyileşmeyen kemik kırıkları ve yaralar (Basset,1980),
b) Migren, epilepsi (Çömlekçi , 1996),
c) Sinir rejenerasyonu (Çömlekçi , 1996),
d) Bazı kas-iskelet sistemi hastalıklarının tedavisinde,
e) Bitkilerin, büyüme ve gelişmesinin izlenmesinde kullanılmaktadır (Kocaçalışkan, 2004).

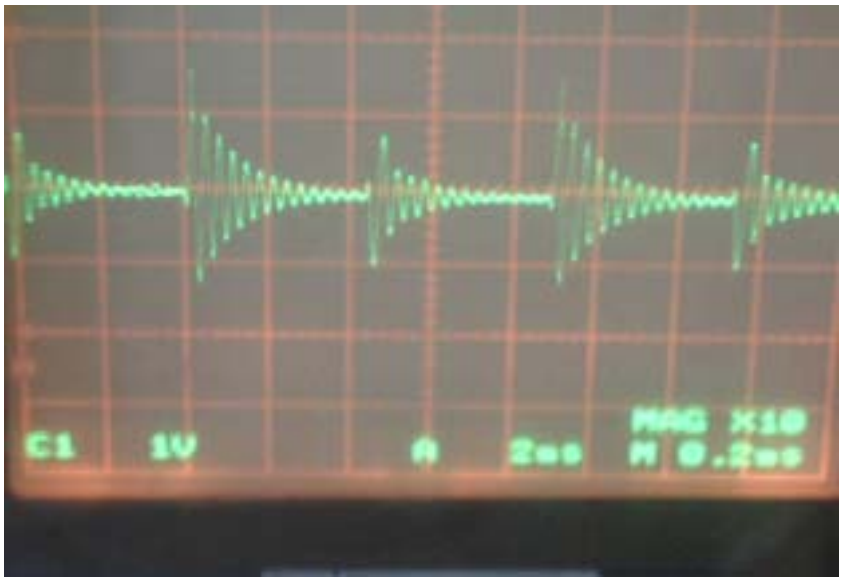
Yara; canlı dokunun fizik, kimyasal, cerrahi ve mikroskobik nedenlerle anatomik ve fonksiyonel devamlılığının bozulmasıdır. Organizmanın doğal tepkisi, yaraları mümkün olduğunca kısa sürede kapatmak ve yapıların normal sürekliliğini geri getirmektir. Bu süreç, yara iyileşmesi olarak adlandırılır. Yara iyileşmesi; tüm dokularda, aynı biyolojik ve biyokimyasal prensipleri takip eder.

Yara iyileşmesi; tüm organizmalarda doku hasarına cevap olarak, hücresel fizyolojik, biyokimyasal olayların bütünleşmiş bir gelişimini gösterir. Dokunun yeterli oksijenlenmesi, vitamin ve minareller, steroidler, hormonlar, enfeksiyon, bazı metobolik hastalıklar yara iyileşmesini etkileyen faktörlerdir (Taşkan, 1993).

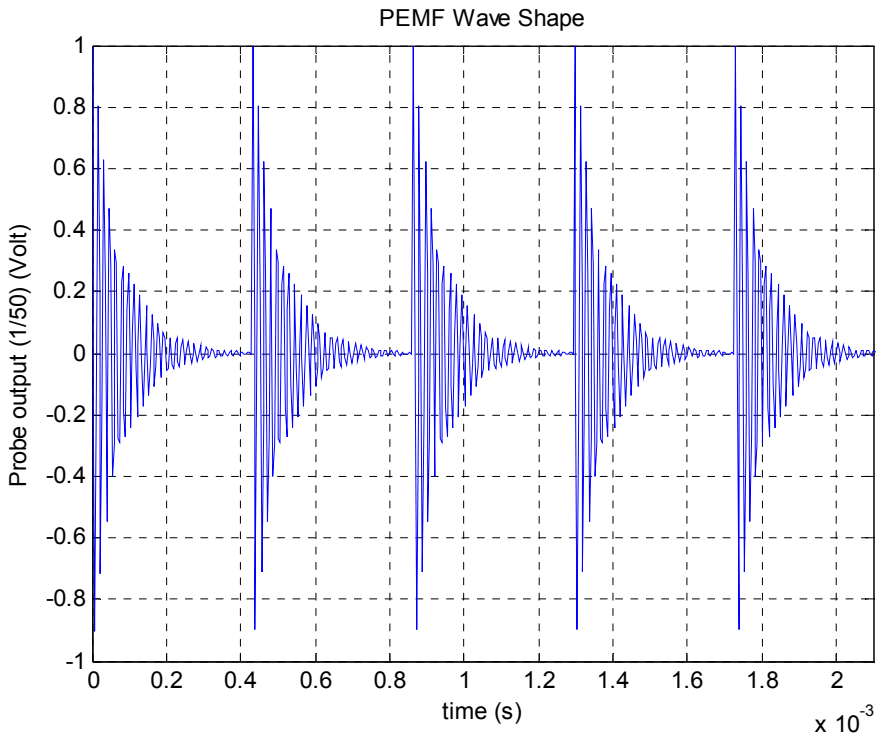
Bu çalışmada DEMA üreteci olarak; Süleyman Demirel Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölüm Laboratuarında kullanılan, manyetik alan üreteci ve bu cihaza ait Helmholtz bobin takımı kullanılmıştır.

Şekil 3.8. Darbeli elektromanyetik alan üreteci

Şekil 3.8.'da cihaz ve ölçüm düzeneği, Şekil 3.9.'da da DEMA dalga şekli görülmektedir.



Şekil 3.9. Darbeli elektromanyetik alan (PEMF) üreteci dalga şekilleri



Şekil 3.10. PEMF dalga şeklinin MATLAB'da gösterimi

Bu çalışmada; 200 gr ağırlığındaki ratler kullanılarak; ikisi kontrol ve diğerleri deneme olmak üzere toplam dört grup elde edilmiştir. Bu ratlerde açık bırakılmış ve suture edilmiş yaralar oluşturulmuştur. Deneme gruplarından birine; günde 30 dak ve 5 mT darbeli elektromanyetik alan uygulanmıştır. Diğer deneme grubuna ise, günde 1 saat 2.5 mT uygulanmıştır. Bu işlem 1 hafta devam ettirilmiştir. Deney sonuçları, bulgular bölümünde verilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Statik (DC) Alan ve 50 Hz Rat Çalışması

Ratler kullanılarak yapılan DC ve 50 Hz etkileşim deneyleri sonucunda, uzun süreli maruziyetin hangi biyolojik dokuda ne tür etkileri olduğu konusu araştırılmıştır. Bölüm 1.4'de verilen teorik kuram çerçevesinde Şekil 1.11'deki düzenek kullanılmıştır. Çalışmanın hücre ve doku analizleri, konu ile ilgili bilim adamlarınca yapılmış ve yorumlanmıştır. Çalışmada 50 Hz deneyinden sonra bir de statik alan deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunun asıl nedeni; zararsız olduğu sanılan statik bir alanda biyolojik dokunun, hareketli dokuda indükleme akımları oluşturduğunu ve zararlı etkilerinin de bulunabileceğini göstermeyi amaçlamaktadır.

1 ay sonunda, ratlerden alınan sinir hücreleri incelenmiştir. 50 Hz ve statik elektrik alan ezilme tipi periferik sinir yaralanması modelinde; fonksiyonel iyileşme hızı 50 Hz grubunda, daha belirgin olarak yavaşlamıştır. Ancak nihai iyileşme düzeyinde belirgin bir fark görülmemiştir. Statik ve 50 Hz'e maruz kalan hayvanlar; anlamlı derecede kilo almalarına rağmen, kilo almaları kontrol grubuna göre daha azdır. Periferik sinirlerin erken iyileşme döneminde histomofetrik incelenmesinde; valleryan dejenerasyonyan bulgusu olarak miyelin artık temizliğini, 50 Hz'in azalttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgularla; statik grubunda elde edilen bulguların, yüzey yükünün neden olduğu yeme ve yürüme davranışları üzerindeki etkisine bağlanabileceği düşünülmüştür. Ancak hismol sinir rejenerasyonu, 50 Hz'in etkisini destekleyici niteliktedir. Hem 0 hem de 50 Hz uygulan ratlerde, strese bağlı terleme meydana gelmiştir.

Çalışmanın bir bölümünde; rat sırtında 3x3x3 boyutunda deri fleplerinin kesilmesiyle, 72 saat boyunca, flep yaşamının nasıl etkilendiği incelenmiştir. Kontrol grubunda fleplerin tamamı yaşarken, 50 Hz'de fleplerde total nekroz (ölüm) meydana gelmiştir. Bu bulgularla; 50 Hz elektrik alanın, neovaskülarizasyon (damar oluşumu) süresini olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

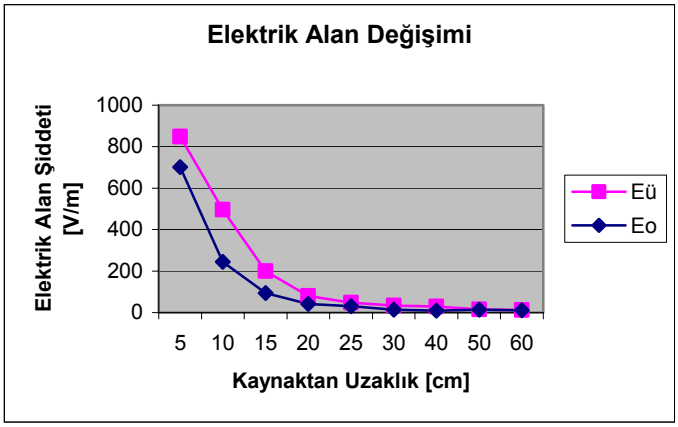
Birinci deneyde valleryan dejenerasyonunun etkilenmesi; ikinci deneyde de neovaskülarizasyonun etkilenmesi, her iki patolojik süreçte de önemli rol oynayan inflamasyon (iltihap) elemanlarının özellikle makrofaj infiltrasyon (bakterileri fagosite etmesi) ve aktivitesinin olumsuz etkilediğini düşündürmektedir. Bunun doğrulanabilmesi için daha ileri çalışmalara gerek duyulmaktadır. Farklı frekans ve genlik değerlerinde olumlu ve olumsuz etkilenmede ilginç bilimsel sonuçlara ulaşılacağı düşünülmektedir.

4.2. 27 MHz Ölçümleri

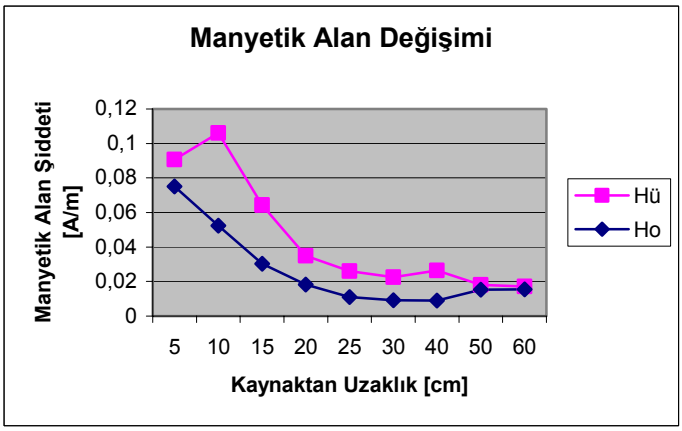
27 MHz kaynak modeli tasarlamak için yaptığımız çalışmada; MIDLAND ticari markalı 4 W çıkış gücüne sahip, 40 kanallı continuous wave halk bandı haberleşme telsizi olarak kullanılan cihaz alınmıştır. Ölçüm için hazırlanan deney düzeneği Şekil 3.4.'de görülmektedir. Tasarlanan bir çerçeve prop, spektrum analizöre bağlanmış ve ölçümler belirtilen düzlemde yapılmıştır. Ölçüm değeri, transfer fonksiyonu 27 MHz için sabit olan propla yapılmıştır. Bu test düzeneği; endüstriyel kullanımı olan 27 MHz alanın, yerinde ölçümü için gereken hassasiyetini gözlemek için tasarlanmıştır.

Tablo 4.1. Anten düzleminde elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğu değişimi (r, cm olarak kaynaktan uzaklık)

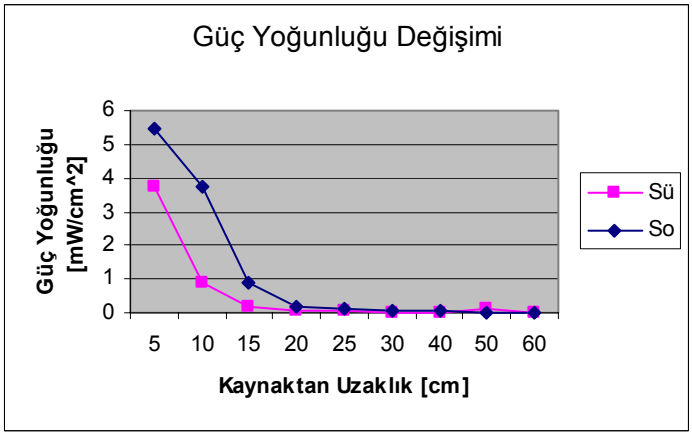
r	5	10	15	20	25	30	40	50	60
Eü	848.68	495.65	199.1	80.87	48.46	34.16	29.37	15.66	11.98
Eo	701.8	244.34	93.65	42.18	31.08	13.92	9.96	13.34	10.79
Hü	0.09065	0.1061	0.0642	0.035	0.026	0.0225	0.0263	0.018	0.0171
Ho	0.075	0.0523	0.0302	0.01824	0.0109	0.00918	0.0089	0.0153	0.0154
So	5.44	3.72	0.904	0.2	0.0904	0.0544	0.0548	0.02	0.01452
Sü	3.72	0.904	0.2	0.0544	0.0372	0.00904	0.0063	0.1452	0.0117



Şekil 4.1. Elektrik alanın anten üst ve orta düzleminde değişim grafiği



Şekil 4.2. Manyetik alanın anten üst ve orta düzleminde değişim grafiği



Şekil 4.3. Güç yoğunluğunun anten üst ve orta düzleminde değişim grafiği

Halk bandı haberleşmesinde kullanılan cihaz için yapılan güç yoğunluğu ölçümlerinde; insan kafası ve göz ekseninden 20 cm mesafedeki güç yoğunluğu, 0.2 mW/cm^2 olarak bulunmuştur. Bu değer 10-400 MHz frekans aralığında, ICNIRP tarafından kabul edilen limit değerdir.

4.3. Endüstriyel Ölçümler

Bu çalışmanın ölçüm bölümü; Isparta Sanayi Sitesinde faaliyet gösteren bir gözlük camı işleme atölyesinde kullanılan, 27 MHz dielektrik ısıtıcı cihaz için yapılmıştır. Ölçüm için, 'Holaday HI-3804 Industrial Compliance Meter' cihazı kullanılmıştır.

Tablo 4.2. "Holaday HI-3804 Industrial Compliance Meter" cihazı ile uzaklığa bağlı ölçüm değerleri

Uzaklık	**V/m**	**A/m**	**mW/cm^2**
20 cm	138	1.9	3.2
35 cm	89	1.63	2.8
1m	25.6	0.3	2.2

Tablo 4.2.'de ölçüm sonuçları görülmektedir. Tablo 1.7. bu frekans için işyerlerinde 61 V/m, 0.16 A/m değerlerini, Tablo 1.8. ise genel halk için 28 V/m, 0.073 A/m değerlerini limit olarak vermektedir. Anlaşıldığı üzere; bu cihaza 1 m den fazla yaklaşılması, çalışanlar için tehlikeli oluşturmaktadır.

4.4. Diyatermi (Dokuların İçten Isıtılması)

Çalışmanın bu bölümü, Isparta Devlet Hastanesi Fizyoterapi Ünitesinde kullanılan diyatermi cihazı etrafında yapılmıştır. Ölçümler Şekil 3.6.'da gösterilen doğrultularda, değişik yaklaşım mesafelerinde ve düşey doğrultudadır. Ölçümler kritik yaklaşım mesafelerinin tanımlanması için; yatay düzlemde 1 m'ye kadar değişik mesafelerde, düşey düzlemde ise operatör ayakta iken vücudunda oluşacak maruz kalma seviyelerinin belirlenmesi amacıyla zeminden 130 cm'ye kadar değişen yüksekliklerde alınmıştır.

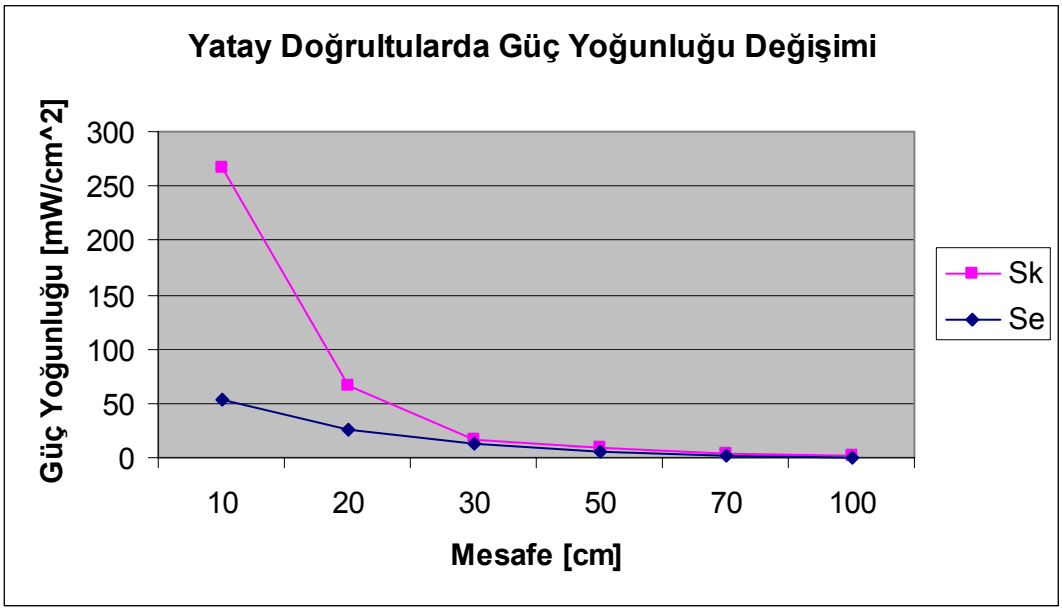
Kablo ve elektrot yatay düzlem güç yoğunlukları Tablo 4.3.'de, düşey düzlem güç yoğunlukları ise Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Diyatermi cihazı etrafında yatay doğrultulardaki güç yoğunluğu değişimi

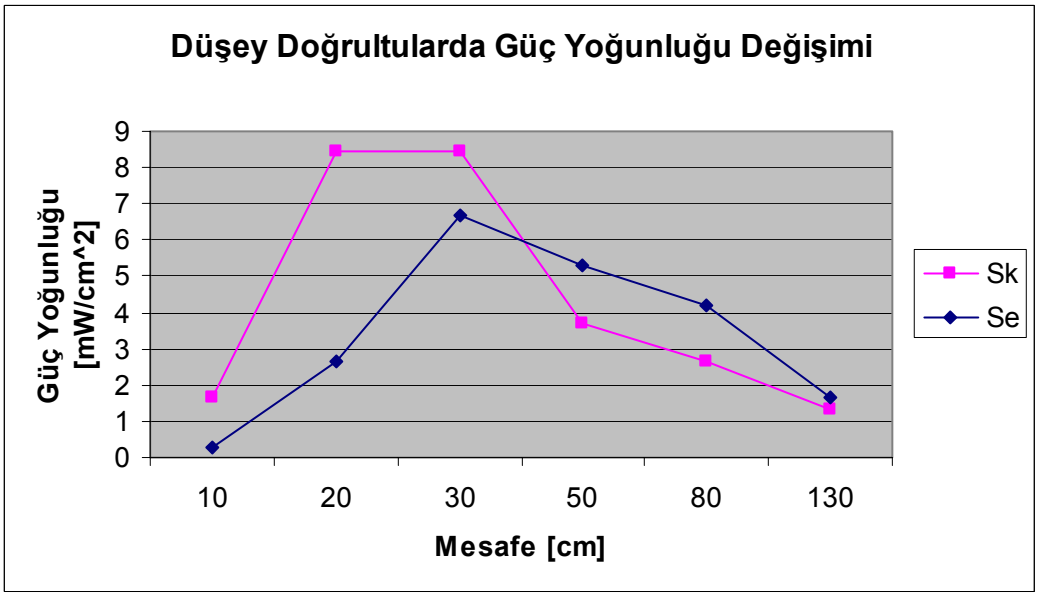
Mesafe (cm)	10	20	30	50	70	100
Kablo Düzlemi	266.6	66.98	16.82	8.43	4.22	2.66
Elektrot Düzlemi	53.2	26.6	13.36	5.32	2.66	0.67

Tablo 4.4. Diyatermi cihazı etrafında düşey doğrultulardaki güç yoğunluğu değişimi

Mesafe (cm)	10	20	30	50	80	130
Kablo Düzlemi	1.68	8.43	8.43	3.69	2.66	1.33
Elektrot Düzlemi	0.26	2.66	6.69	5.32	4.22	1.68



Şekil 4.4. Diyatermi cihazı etrafında yatay doğrultulardaki güç yoğunluğu değişimi



Şekil 4.5. Diyatermi cihazı etrafında düşey doğrultulardaki güç yoğunluğu değişimi

Fizyoterapi biriminde; diyatermi cihazı çevresinde yapılan ölçümler sonucunda, bazı yaklaşım mesafeleri için önerilen seviyeler aşılmıştır. Kablo ve elektrotlara 1 m yaklaşım mesafesi içerisinde oluşan lokal alanlar, önerilen maruz kalma seviyelerini aşabilmektedir. Operatörlerin bu yaklaşım mesafelerinde; bazı durumlarda 2-3 dakika bulundukları dikkate alındığında, risk altında bulunabilmektedirler. Doz süreleri 15 dakika olan hastalar için de benzer durum geçerlidir. Bu nedenle fizyoterapi de kullanılan tüm cihazlar için, yeni cihazlar dahil belirli periyotlarda kaçak alanların ölçülmesi gerekliliği bulunmalıdır.

Fizik tedavi biriminde; değişik frekanslarda çalışan diğer cihazlar ise, aynı birim içerisinde birbirlerine çok yakın mesafede kullanılmaktadır. Bu cihazlar aralarında 1-2 m arasında değişen mesafeler olacak şekilde çalışmaktadır. Ayrıca diyatermi cihazı, alüminyum malzemeden yapılmış bir bölmenin hemen dibinde çalışmaktadır.

Cihazı üreten firma, operatörlere cihazdan 2 m mesafede durmalarını önermekte ve diğer cihazların ise 6 m mesafeye yerleştirilmeleri tavsiye edilmektedir. Tedavi amaçlı kullanılan EM enerjinin; sağlık üzerinde risk oluşturmadan, güvenli kullanımının sağlanması konusundaki araştırmaların devam etmesi büyük önem taşımaktadır.

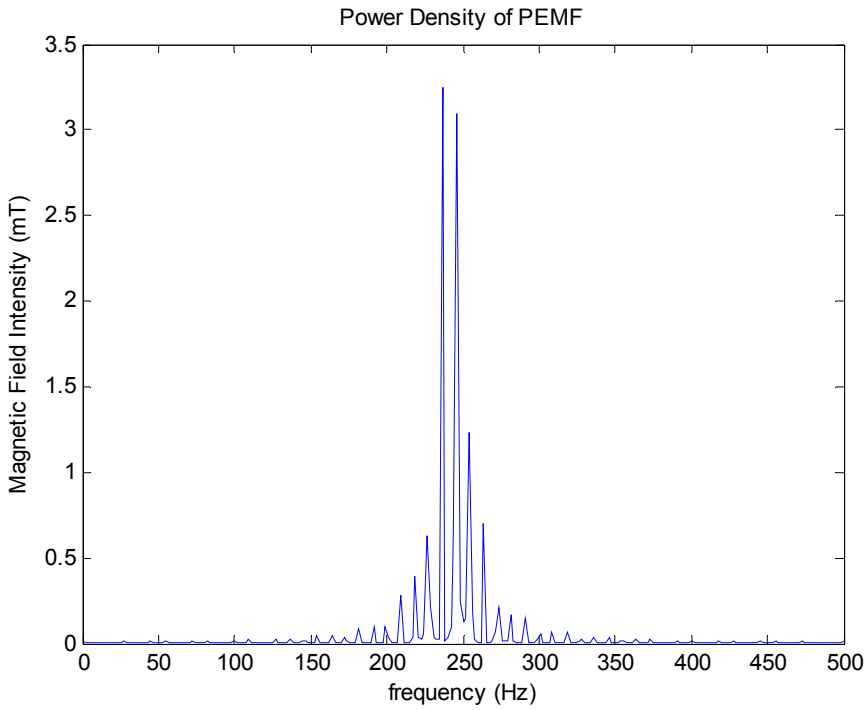
4.5. Bitki Deneyi

Çalışmanın bu kısmında; maruziyet ortamı Şekil 3.7.'de görülen, Helmholtz bobin takımında gerçekleştirilmiştir. Çimlenme deneyinden elde edilen en önemli bulgu, bitki kök ve hücrelerinin maruziyet süresi ve uygulanan manyetik alanın yoğunluğu ile orantılı bir şekilde baskı altına alınmasıdır. Yani kök gelişimi, 1/3 oranında inhibe olmaktadır. Çalışmanın bir bölümü (genetik bozulmalar ve etkilenme); Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü tarafından daha ileri çalışmalar için pilot çalışma olarak kabul edilmiştir. Genetik analizler halen devam etmektedir.

4.6. Darbeli Elektromanyetik Alanın Ratlerde Yara İyileşmesi Üzerine Etkisi

Bu çalışmada darbeli elektromanyetik alanın; ratlerde yara iyileşmesi üzerine etkisini araştırılmıştır. Şekil 3.8.'da cihaz ve ölçüm düzeneği, Şekil 3.9.'da da DEMA dalga şekli görülmektedir. Deneme gruplarından birine; günde 30 dak ve 5 mT , diğer deneme grubuna ise günde 1 saat 2.5 mT darbeli elektromanyetik alan uygulanmıştır. Bu işlem bir hafta devam ettirilmiştir.

Şekil 3.10.'da verilen PEMF dalga şekli için; MATLAB yazılımı kullanılarak, dalganın FFT (Fast Fourier Transform) dönüşümü elde edilmiştir. Bu dönüşüm bize, asıl frekans bileşenini vermektedir. FFT dönüşümü Şekil 4.6.'da görülmektedir.



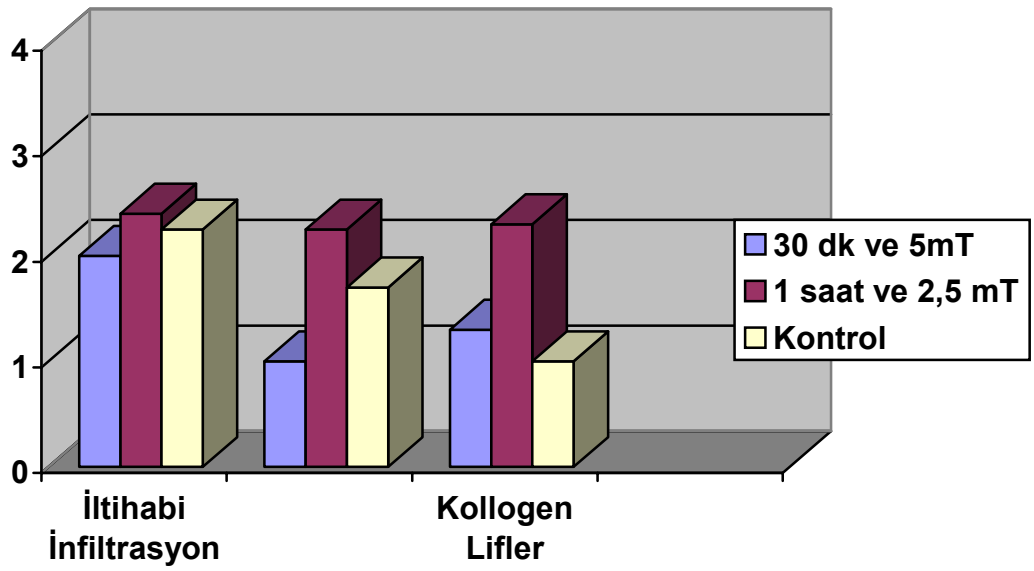
Şekil 4.6. PEMF için güç yoğunluğu

Şekil 4.7. Yaranın açılan ilk kesi durumu

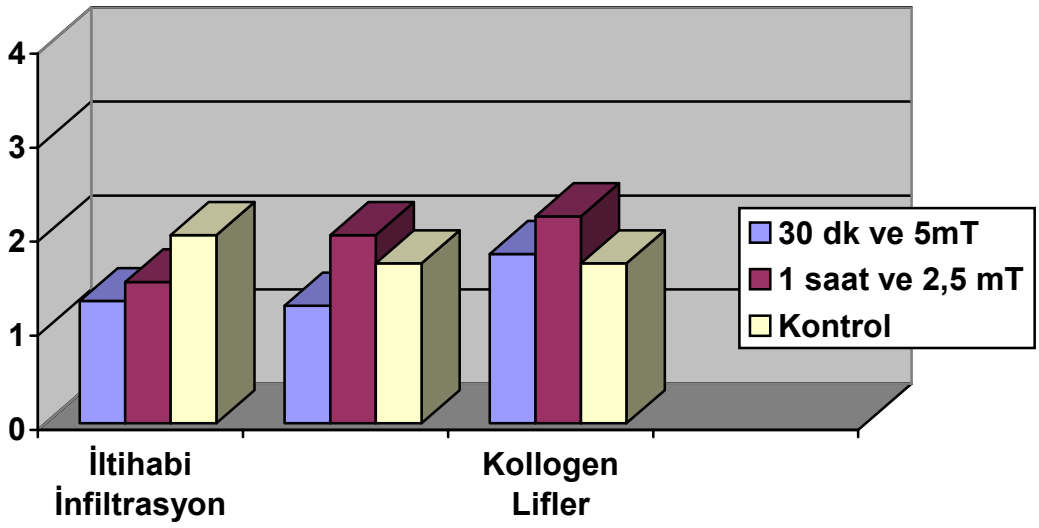
Şekil 4.8. Darbeli manyetik alan uygulandıktan 1 hafta sonraki durumu

Bir hafta DEMA'ya maruziyet sonucunda, Tablo 4.5. ve Tablo 4.6. elde edilmiştir.

Tablo 4.5. Yara iyileşmesinde 3. gün sonuçları



Tablo 4.6. Yara iyileşmesinde 7. gün sonuçları



Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da iltihabi infiltrasyon ve kollojen liflerin değişim oranı görülmektedir. Bir hafta sürdürülen bu işlem sonucunda, iltihabi infiltrasyonda azalma ve kollojen liflerde artma gözlemlenmektedir. Rat sırtında açılan kesi yarada; günde yarım saat 5 mT maruziyet yaranın iyileşmesini, kontrol grubuna göre, yarı yarıya azaltmaktadır. Günde 1 saat 2.5 mT'lık maruziyet ise; kontrol grubuna göre, yarayı yarı yarıya daha hızlı iyileştirmektedir. DEMA'nın yarada nekroz oluşumunu azalttığı ve yara iyileşmesinin erken dönemlerinde (ilk 2 gün) daha yararlı olabileceği kanısına varılmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Endüstriyel amaçla kullanılan frekans bandı, ağırlıklı olarak 0-30 MHz aralığıdır. Bu bant içerisindeki elektrik, manyetik ve elektromanyetik ışınımı simüle ederken, elden geldiğince çok çeşitli maruziyet durumları bu tez içerisinde ele alınmıştır. Literatürde karşılaşılan manyetik ağırlıklı deneysel çalışmalarda (bitki gibi), büyümenin inhibe olduğu gözlenmiştir. Ancak manyetik alanın uygun aralıklar ile darbeler biçiminde verilmesi durumunda, yararlı etkisi ile karşılaşılmıştır. Literatürde verilen bazı yara iyileşmesi sonuçları, bu çalışmanın bulgusu olarak elde edilmiştir. Aşırı yoğun manyetik alan süre az da olsa, yara iyileşmesine negatif etki yapmaktadır. Dozajın uygun olması ve sürenin az olması pozitif iyileşme etkisini çoğaltmaktadır. Halen devam ettiği bilinen bu yararlı etki çalışmalarının gelecekte; frekans, güç yoğunluğu ve dalga şekli değiştirmeleri ile farklı hücre tipleri üzerine oldukça ilginç sonuçlar vereceği değerlendirilmelidir. Yara iyileşmesinde kullanılan dalga şekli özel olarak Basset'in kullandığı dalga şeklidir. Düşük frekansa bindirilmiş yüksek frekansın spektrum güç yoğunluğu Şekil 4.6.'da verilmiştir. Buna göre; 250 Hz civarında asıl bileşen bulunmaktadır. Yani kollojen yapımı için gereken hücre stimülasyonu, 250 Hz civarında gerçekleşmektedir. Hücre zarını etkileyen asıl bileşen, 250 Hz olmaktadır. Basset'in çalışmalarında kemik dokudaki Ca^{++} efflux'ı sağlayan bileşenleri de, 2-250 Hz manyetik alan bileşenidir.

Radyo frekanslı elektromanyetik donanımların giderek artan bir oranda kullanılması, gerek bu konuda mesleki çalışanlar açısından ve gerekse halk sağlığı açısından RF radyasyon maruziyetinin muhtemel zararlarının incelenmesi çalışmalarının önem kazanmasına sebep olmuştur. Özellikle radyo frekansları ile ısıtma yapan sanayi dallarında ya da tıbbi diyatermi ünitesinin çalışması sırasında; bu cihazın yakınlarında bulunan bireylerin, RF alanlara aşırı maruz kalma olasılığı bulunmaktadır. Çalışmada yapılan ölçümler sonucunda belirlenen kaynaklar etrafında radyasyona maruz kalma süreleri standart seviyeleri çok fazla aşmıştır. Radyo frekanslı elektromanyetik alanların; insan sağlığı üzerine etkileri konusunda, araştırmalar sürmektedir.

Konu araştırma bakımından, birçok bilim dalını kapsamaktadır. Özellikle kaynak tiplerinin belirlenmesi; maruz kalma şartlarının tam olarak tanımlanması, RF kaynağı konumundaki cihazların doz seviyelerinin ölçülmesi mühendislik araştırmaları ile sağlanabilmektedir. Ayrıca belirlenen bu şartlar doğrultusunda; kaynağın teknolojisi geliştirilerek, daha güvenli tasarımlar yapılabilir. Tıbbi araştırmalar için ise; belirlenen bu çalışmaların ışığında, deneysel araştırma imkanları sağlanmış olur.

Bu tez çalışmasında asıl önemli sonuç; DC'ye yakın ELF ya da statik elektrik alanlar ile ilgili yapılan deneysel çalışma sonuçlarıdır. Uluslar arası standart kuruluşlarının sınır olarak belirlediği alan değeri baz olarak alınarak yapılan çalışmada; insana yakın metabolizmaya sahip memeli bir hayvan üzerinde, bu sınır değerin hiç masum olmadığı gösterilmiştir. WHO'nun İstanbul'da düzenlenen 'Workshop on Sensitivity of Children to EMF' toplantısında ; çalışmanın alınan ilk sonuçların sunulması fırsatı elde edilmiş ve sunum ilgi bulmuştur. ELF ışınımın canlı üzerindeki olası etkilerinin değerlendirildiği bu toplantının ve Washington'da düzenlenen 26. BEMS toplantısında da sonuçlar ilgi görmüştür. Bu çalışmanın Amerika'da sunulabilmesi için, BEMS ve TÜBİTAK maddi destekte bulunmuşlardır. Bu toplantılardaki benzer sonuçların değerlendirilmesi ile IEEE C-95 komisyonu toplanarak, ELF standartlarının revizyonu konusunda çalışmalara başlamıştır. Artık elektrik alanların da manyetik alanlar kadar hücre mekanizmasını etkileyebileceğini ve kümülatif dejenerasyonlar yaratabileceği bilimsel çevrelerce kabul edilmektedir.

Bu çalışmada yaratılan doku içi 10 mV/m seviyesindeki AC (50 Hz) ve DC alanın sinir rejenerasyonunu azalttığı ve bazı diğer negatif etkiler ispatlanmıştır. Konunun mühendislik açısından önemi, doğru hücre modelleri yaratmaktır. Geleceğin önemli araştırma konuları bunlar olacaktır. Sonuç olarak tüm alanlarda EM maruz kalma şartları incelenmeli ve bunlara göre gerekli düzeltmeler yapılarak, ulusal standartlar belirlenmelidir. Bu konuda yapılacak araştırmaların devam etmesi, bilimsel ve toplum sağlığı açısından önemlidir.

6. KAYNAKLAR

Adair, E. R., Mylacraine, K. S., Allen, S. J., 2003. Thermophysiological Consequences of Whole Body Resonant RF Exposure in Human Volunteers, Bioelectromagnetics 12: 489-501.

Anderson, L.E., Morris, J. E., 2001. Large Granular Lymphocytic Leukemia in Rats Exposed to Intermittent 60 Hz Magnetic Fields, Bioelectromagnetics 22:185-193

Atalay, N., 1999. Elektromanyetik Kirlilik ve Etkileri, Korunma Yöntemleri, WHO Uluslar arası Elektromanyetik Alan Projesi, Ulusal ve Uluslar arası Politikalar, Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyum Kitabı.

Basset, C., 1993. Beneficial Effects of Electromagnetics Fields, J. Cell Bio Chemistry, pp. 436-441.

Berry, M.V., Geim, A.K.,1997. Of Flying Levitrons , EurJ Phys 18: 307-313.

Beniashvili, DSh., Beniashvili, VG., Menabde, MZ., 1991. The Effect of Low-Frequency Electromagnetic Fields on the Development of Experimental Mammary Tumors, Vopr Onkol 37: 937–941.

Brown, PDC., Hadley J. A., Waterhouse, J., Webster. J. S., 1988. Teratogenic Effects of Exposure to RF Radiation (27.12 MHz) from a Shortwave Diathermy Unit, Ind Health 26: 1-10.

Bini, M., Checcucci, A., Ignesti, A., Millanta, L., Olmi, R., Rubino, N., Vanni, R., 1986. Exposure of Workers to Intense RF Electric Fields that Leak From Plastic Sealers , J. Microw Power 21: 33-40.

Bowman, J.D., Garabrant, D.H., Sobel, E.& Peters, J.M., 1988. Exposures to Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic Fields in Occupations with Elevated Leukemia Rates, Applied Industrial Hygiene, 3: 189-194.

Bouzorjomehri, F., Hajizadeh, S., Sharafi, A. A., Firoozabadi S. M. P., 2000. Effect of Low Frequency PEMF on Wound Healing in Rat Skin, Archives of Iranion Medicine, 3-1.

Bracken, T.D., Kheifets, L. I., Sussman, S. S., 1993. Exposure Assessment for Power Frequency Electric and Magnetic Fields (EMF) and Its Application to Epidemiologic Studies, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 3:1-22.

Barregard, L., Jarvholm, B., Ungethum, E., 1985. Cancer among Workers Exposed to Strong Static Magnetic Fields, Lancet, 2: 892.

Canada Safety Code 25, 1998. Short Wave Diathermy Guidelines For Limiting Radio Frequency Exposure, Minister of National Health and Welfare, Canada.

Çağlar, F., 1999. Isparta İlinde ELF Manyetik Alan Şiddeti Seviyelerinin Ölçülmesi ve Sonuçların İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

Çömlekçi, S., 2002. Bulanık Mantık Kullanarak Yakın Alan Probunun Optimizasyonu, Sakarya Üniversitesi, Doktora Tezi. Adapazarı.

Çömlekçi, S., 1996. Elektomanyetik Dalgalarla Terapi Yöntemleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

Çömlekçi, S., Ulukut, Ö., Çolak, Ö., 2004. Residential Exposure to Electromagnetic Fields and Childhood Leukemia, International EMF Project, Workshop on Sensitivity of Children to EMF, Crowne Plaza, İstanbul, Turkey.

Davis, J. G., Mills W. A., 1993. Health Effect of Low Frequency Electric and Magnetic Fields, Science and Technology, Vol. 27, No.1, pp. 44-48.

Davis, J. G., 1992. Health Effects of Low Frequency Electric and Magnetic, Oak Ridge Associated University.

Delgado, J.M.R., 1985. Biological Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Field, J. of Bioelectricity. 4(1): 75-91.

Denno, K., 1992. High Voltage Engineering in Power System, Boca Raton, pp.367-376, CRC Press.

Demirkan, F., 1997. Farklı Tiplerdeki Direkt Elektrik Akımlarının Yara İyileşmesi Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması, Gazi Üniv. Tıp Fak. Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi Anabilim Dalı, Ankara.

Dinç, H., 2003. Elektromanyetik Işınımların İnsan Sağlığına Etkisi, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi, sayı 406.

Douglas, J., Male, R., Newell, G., Perhac, R., Sagan, L., 1984. Electromagnetics Fields and Human, pp.14.

Foster, K. R., Moulder J. E., 1996. Questioning Biological Effects, IEEE Engineering in Medicine and Biology, 15: 23-102.

Fulton, J.P., Cobb, S., Preble, L., Leone, L., Forman, E,.1980. Electrical Wiring Configurations and Childhood Leukemia in Rhode Island, Am J Epidemiol 111: 292-296.

ICNIRP, 1998. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields, Health Phys. Vol. 74, 4: 494-522.

Jerry, L., Robert, F., Clevand, Jr., 1997. Federal Communication Comission Office of Engineering &Tecnology, Radio Frequency Electromagnetics Field for Amateur Radio Stations, OET Bulletin 65, Editions 97-01, Washington.

Lary, J. M., Conover, D. L., Foley, E. D., Hanser, P. L., 1982. Teratogenic Effects of 27.12 MHz Radiofrequency Radiation in Rats, Teratology 26: 299-309.

Lorrain, P., Corson, D., 1994 Electromagnetic Fields and Waves, Chapter 2.16. W.H. Freeman and Company, San Fransisco.

Michel, A., Gutzeit, H.O., 1999. Electromagnetic Fields in Combination with Elevated Temperatures Affect Embryogenesis of Drosophila, Biochemical and Biophysical Research Communications, 265: 73-78.

Milham, S., 1985. Mortality in Workers Exposed to Electromagnetic Fields. Environmental Health Perspectives, 62: 297-300.

Middleton, J., 1992. The Engineer's EMC Workbook. Tha Nuffield Pres, Hollow Way, 135s. Oxford.

Özen, Ş., 2000. Canlıların Direkt Etkilendiği 27 MHz-1000 MHz Frekans Aralığındaki Elektromanyetik Enerji Kaynaklarının Oluşturduğu EM Enerji Yoğunluk Seviyelerinin Belirlenmesi, Sonuçların İn Vitro- İn Vivo Araştırmalar ve Epidemiyolojik Bulgularla Karşılaştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

Patino, O., Grana, P., Bolgiani, A., Prezzevento, G., Mino, J., Mento, A:, Benaim, F., 1996. Pulsed Electromagnetic Fields in Experimental Cutaneus Wound Healing in Rats, J Burn Care, 17: 528-31.

Reite, M., Higgs, L., Lebet, J. P., Barbault, A., 1994. Sleep Inducing Effect of Low Energy Emission Therapy, Bioelectromagnetics, 15: 67-75.

Susman, S., 1995. Exposure Assessment at Extremely Low-Frequencies: Issues, Instrumentation, Modeling, and Data, Radio Science, 30: 151-159.

Savitz, D. A., Health Effects of Low Frequency Electric and Magnetic Fields, Environ, Science Technology , Vol.27, No.1, pp.52-54.

Schwan, H. P., 1985. Biophysical Principles of the Interaction of ELF Fields with Living Matter. Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetics Fields, 243-271, Plenum Pres, Newyork.

Sevgi, L., 2000. EM Kirlilik, Cep Telefonları ve Baz İstasyonları, EMO İstanbul Şubesi.

Şeker. S., Çerezci O., 1997. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Yayınları.

Tenforde T. S., 1993. Health Effects of Low Frequency Electric and Magnetic Fields, Environ, Science Technology , Vol.27, No.1, pp. 56-58.

Tofani, S., Agnesod, G., Ossola, P., Ferini, S., Bussi, R., 1986. Effects of Continuous Low-level Exposure to Radio Frequency Radiation on Intrauterine Development in Rats, Health Phys, 51: 489-499.

Trostel, C. T., Mc Laughlin, R.,M., Lambert, J. G., Cooper, R.C., Elder, S. H., Pool, R. R., Cromiak, J. A., Boyle, C. R., 2003. Effects of Pico-Tesla Electromagnetic Field Treatment on Wound Healing in Rats, Am. J Vet Res, 64: 845-54.

Ulukut, Ö., Çömlekçi, S., 2004. Bazı Endüstriyel Elektrik ve Manyetik Alanlara Maruz Kalmada, Etkilenme Seviyelerinin Belirlenmesi, URSI İkinci Ulusal Kongresi, Bilkent Üniversitesi, ANKARA.

Ulukut, Ö., Çömlekçi, S., 2004. Exposing to Industrial EM Fields, Standards, Developing Measurement Procedures and Simulation of Measurements, BEMS 26th Annual Meeting Abstract Book, pp.319, Washington DC.

Wertheimer, N. Leeper, E., 1980. Electric Wiring Configurations and Childhood Leukemia, Am J Epidemiol, 198: 273-284.

World Health Organization (WHO), 1993. Environmental Health Criteria Electromagnetics Fields (300 Hz-300 GHz), 53, Genova.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem ULUKUT

Doğum Yeri : Burdur

Doğum Yılı : 1980

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1993-1997 Burdur Cumhuriyet Lisesi

Lisans : 1998-2002 S.D.Ü Müh. Mim. Fakültesi, Elek. Hab. Müh.

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

2002- S.D.Ü Müh. Mim. Fak. Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü

EKLER

EK-1

Transfer fonksiyonu MATLAB programı kullanılarak hesaplanmıştır.

```
%*****************************************************************
%S=Antenin Yüzey Alani(m2)%
%W0=Merkez Frekansi
%N=Sarim Sayisi%
%T(f)=Transfer Fonksiyonu%
%Q=Quality Factor%
%Wh;Wl(MHz)%
l=3e-2
t=0.5e-2
fa=27e6
N=1
L=N.^2.*0.162*l.*(2.3*log(4*l/t)-2.85)
R=L*2*pi*fa*1e-6
Q=(2*pi*166e6*L*1e-6)/R
%tf hesabi
Wh=1000*1e6;
Wlow=27e6
m=4*pi*10^-7
N=1
S=9*10^-4
W0=2*pi*20e6 %[10:500].*1e6;%
d=(Wh.*Wlow)./(W0.^2);
T=W0.*m.*N.*S.*(1./(Q^-1+j.*(d-d.^-1)));
T=abs(T)
TDB=20*log10(T);
semilogx(W0,TDB)
grid on;
%*****************************************************************
```

EK-2

50/60 Hz İÇİN GENEL HALK Ve MESLEKi MARUZİYET STANDART LİMİTLERi

	Elektrik Alan Şiddeti (kV/m)	Elektrik Alan Şiddeti (kV/m)	Magnetik Akı Yoğunluğu (mT)	Magnetik Akı Yoğunluğu (mT)
STANDART	HALK	MESLEKİ	HALK	MESLEKİ
ICNIRP (1998) (60 Hz)	4.16	8.33	0.0833	0.4166
USA, ACGIH (1998) (60Hz)	-	25	1.0	8.333
CENELEC (1995) (60 Hz)	-	25*	0.533	1.333
UK, NRPB (1993) (60 Hz)	10	10	1.333	1.333
Avusturalya, NH&MRC (1989) (50 Hz)	5	10	0.1	0.5
Almanya (1989) (50 Hz)	20.6	20.6	5.0	5.0
USSR (1975) (50 Hz) USSR (1985) (50 Hz)	-	5.0	-	1.76
Polonya (1980) (50 Hz)	-	15.0	-	-

*zaman kısıtlamaları dahildir.

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists

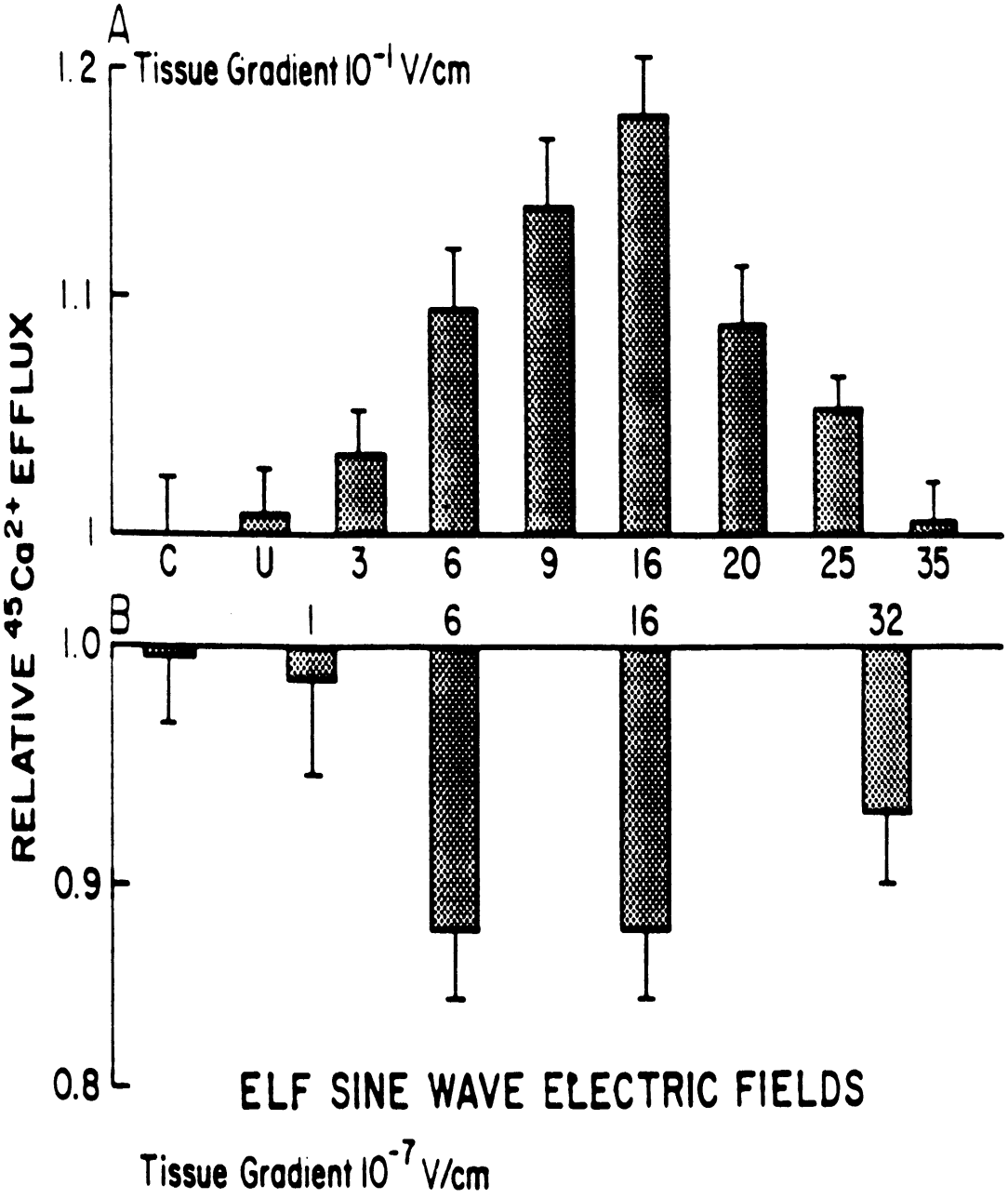
CENELEC - Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique (European Committee for Electrotechnical Standardization)

ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

NH&MRC - National Health & Medical Research Council

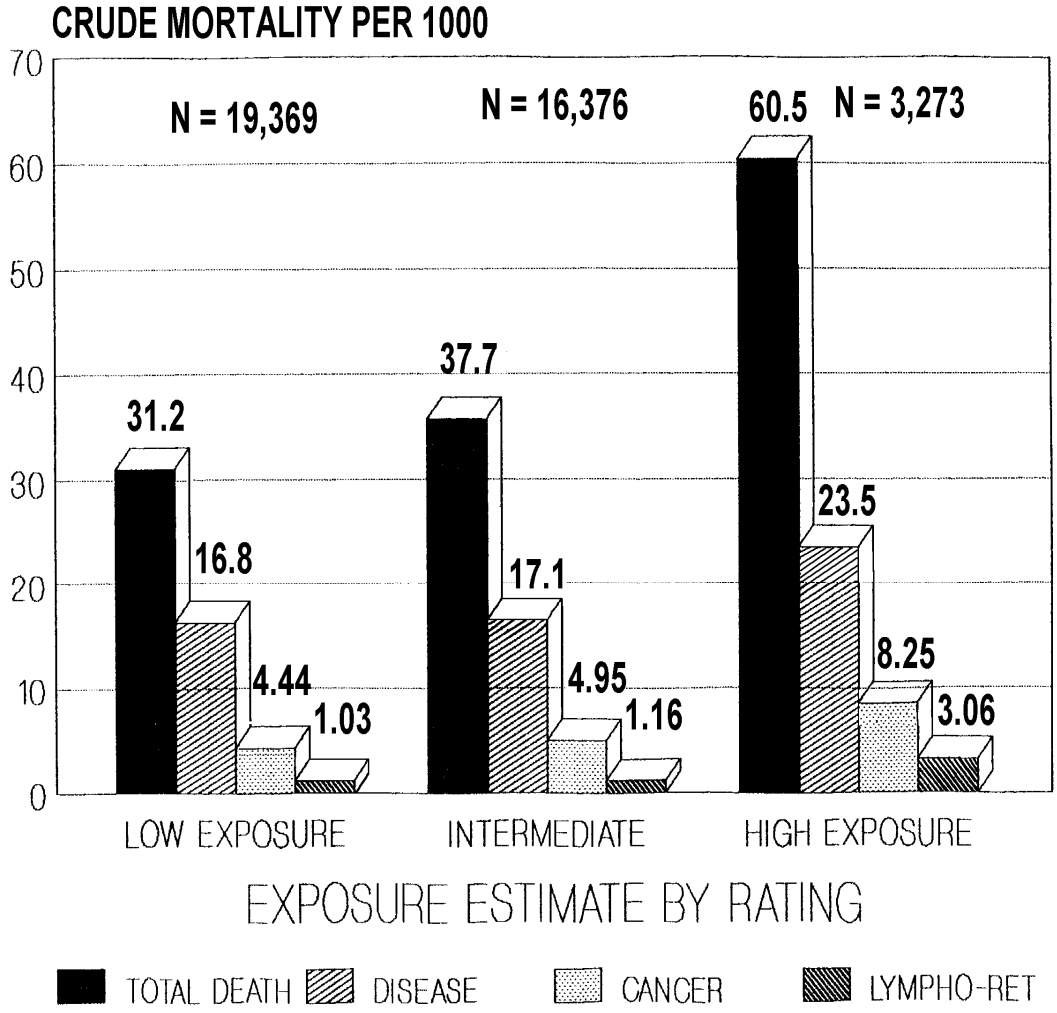
NRPB - National Radiological Protection Board

EK-3


A
Tissue Gradient 10^{-1} V/cm
1.2
1.1
1
C
U
3
6
9
16
20
25
35
B
1
6
16
32
1.0
0.9
0.8
RELATIVE $^{45}Ca^{2+}$ EFFLUX
ELF SINE WAVE ELECTRIC FIELDS
Tissue Gradient 10^{-7} V/cm

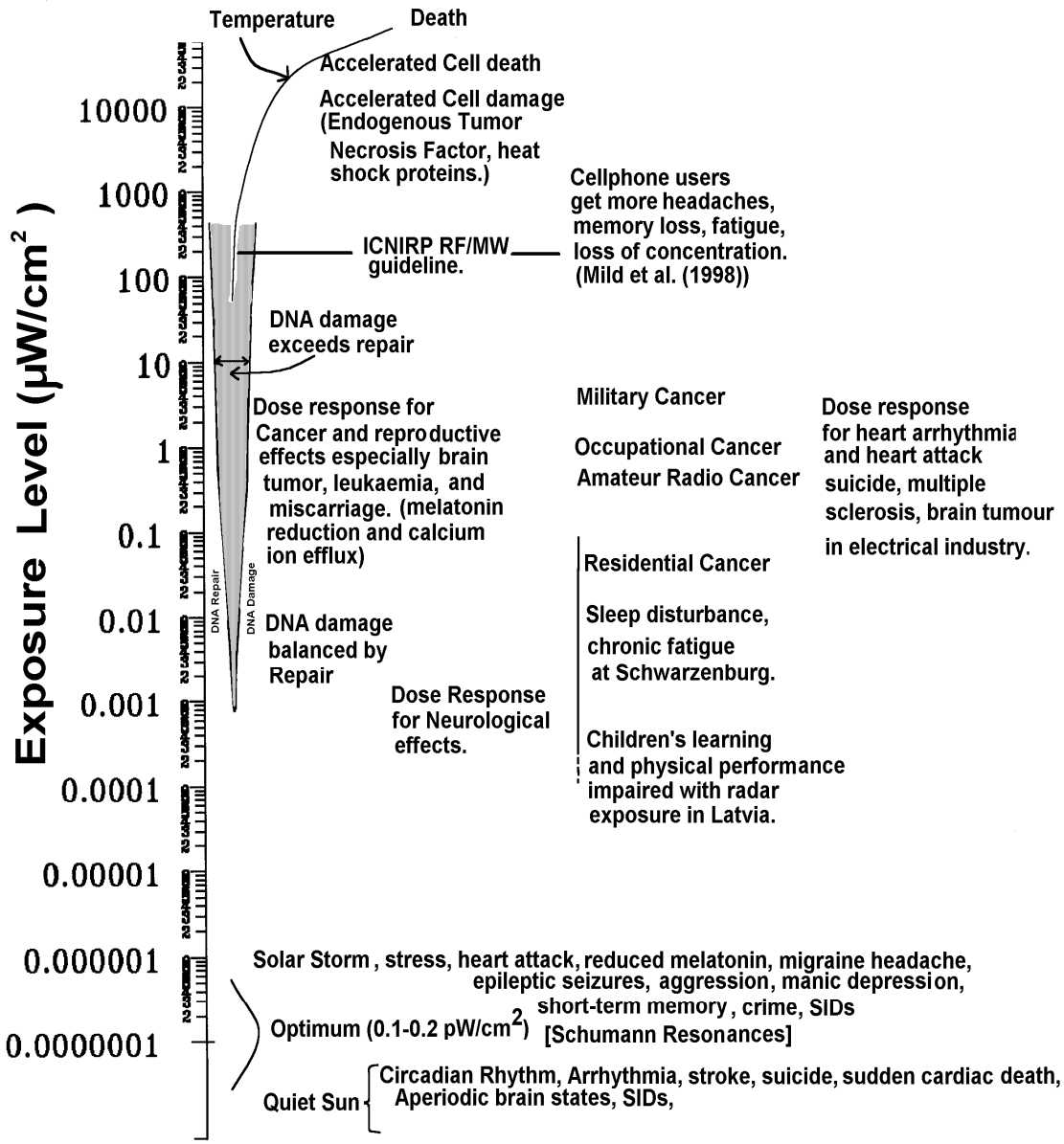
EK-4

MORTALITY 1950-1974 OF NAVAL KOREAN WAR VETERANS ACCORDING TO RADAR EXPOSURE



ALL RATES FOR HIGH > LOW, $p<0.05$ **Data from Robinette et al., Table 5**

EK-5


Temperature
Death
Accelerated Cell death
Accelerated Cell damage (Endogenous Tumor Necrosis Factor, heat shock proteins.)
Cellphone users get more headaches, memory loss, fatigue, loss of concentration. (Mild et al. (1998))
ICNIRP RF/MW guideline.
DNA damage exceeds repair
Dose response for Cancer and reproductive effects especially brain tumor, leukaemia, and miscarriage. (melatonin reduction and calcium ion efflux)
Military Cancer
Occupational Cancer
Amateur Radio Cancer
Dose response for heart arrhythmia and heart attack suicide, multiple sclerosis, brain tumour in electrical industry.
Residential Cancer
Sleep disturbance, chronic fatigue at Schwarzenburg.
DNA Repair
DNA Damage
DNA damage balanced by Repair
Dose Response for Neurological effects.
Children's learning and physical performance impaired with radar exposure in Latvia.
Exposure Level (μW/cm²)
10000
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.000001
0.0000001
Solar Storm, stress, heart attack, reduced melatonin, migraine headache, epileptic seizures, aggression, manic depression, short-term memory, crime, SIDs [Schumann Resonances]
Optimum (0.1-0.2 pW/cm²)
Quiet Sun
Circadian Rhythm, Arrhythmia, stroke, suicide, sudden cardiac death, Aperiodic brain states, SIDs,